ADRIANO DUCATI

LE ONDE CORTE

NELLE

COMUNICAZIONI RADIOELETTRICHE

CON 606 FIGURE NEL TESTO

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI
EDITORE

ADRIANO DUCATI

LE ONDE CORTE

NELLE

COMUNICAZIONI RADIOELETTRICHE

CON 606 FIGURE NEL TESTO

BOLOGNA
NICOLA ZANICHELLI
EDITORE

BOLOGNA - TIP. PAOLO NERI - 1927 V.

A

S. A. R. IL PRINCIPE DI PIEMONTE

PREFAZIONE

Il significato specifico dell'espressione « onde corte » è stato alquanto variabile nel tempo: e così mentre alcuni anni or sono si riconoscevano come corte le onde di qualche migliaio di metri, oggi lo stesso termine sta ad indicare lunghezze centinaia di volte minori.

Stabilendo di riferirci alle onde più corte della gamma hertziana che presentano spiccate e caratteristiche particolarità comuni, *dobbiamo riconoscere come* corte *le onde inferiori ai 600 metri di lunghezza e ciò anche se il termine è modernamente usato a riconoscere lunghezze inferiori.*

Ho quindi considerato come corte *le onde elettriche comprese fra 10 e 600 metri di lunghezza, mentre ho chiamato* cortissime e ultracorte *le inferiori.*

Il successo delle onde corte, nelle applicazioni pratiche di comunicazione a distanza, è e sarà legato ad un grande numero di esperimentatori, siano essi dedicati all'indagine sulla propagazione attorno alla terra o allo studio e al perfezionamento dei sistemi generatori e rivelatori o infine al pratico e commerciale servizio radiotelegrafico con stazioni ad onda corta.

Il desiderio che questo libro possa riuscire di utilità generale, giustifica ai miei occhi un inizio con un vero e proprio « richiamo agli elementi » che altrimenti potrebbe apparire superfluo.

Nella seconda parte, trattando della ricezione in genere, mi sono soffermato specialmente sulla amplificazione ad alta frequenza di onde corte, riconoscendo che molto resta ancora da fare in questo campo per portare la sensibilità e costanza dei complessi prossima a quella degli amplificatori per onde lunghe. I sistemi di amplificazione esaminati sono quelli fondamentali: da essi ogni

modificazione più o meno efficace, è stata derivata o è derivabile; ho ritenuto quindi inutile un monotono elenco dei vari « circuiti nuovi » poichè il lettore potrà sempre identificarli ritracciandone l'origine.

L'ultimo capitolo della seconda parte dimostra che la ricezione di onde minori di 200 metri è oggi riservata soltanto al classico raddrizzatore reattivo, e rende ancor più evidente la necessità di studiare sistemi veramente « originali » che permettano la efficace amplificazione di frequenze così elevate.

Lo studio del sistema radiante, intrapreso nella terza parte, è forse quello che più risentirà dei risultati sperimentali della propagazione attorno alla terra che via via si accumuleranno. L'effettivo comportamento dell'antenna non ci appare oggi chiaro ed evidente e ciò ancor più con la complessa introduzione della componente spaziale di radiazione. Io ho esposto concetti classici nei riguardi del sistema radiante, concetti che potranno coincidere, essere in opposizione e magari tornare a coincidere coi risultati sperimentali. Essi sono tuttavia necessari ad una visione sia pur limitata del comportamento dell'antenna, nè potrebbero essere modificati finchè l'esperienza non fornirà maggiore numero di dati e di coincidenze.

Venendo a parlare della produzione di onde corte, ho ritenuto necessario un breve esame storico affinchè il pensiero del nuovo lettore possa passare attraverso i vari stadi che i risultati sperimentali hanno lentamente determinato. Il concetto generale di questo primo capitolo della quarta parte è informativo nè l'esame superficiale di alcune delle più moderne teorie è dovuto alla coincidenza di queste col mio pensiero. Allo stato attuale della nostra conoscenza è difficile e prematuro supporre e tanto meno affermare qualche cosa. Sarebbe invece mio desiderio che i concetti esposti mantenessero soltanto il loro valore informativo affinchè la esperienza dei nuovi osservatori scaturisse pura, veritiera e senza preconcetti di sorta.

Ad una analisi elementare dell'audion come oscillatore ho fatto quindi seguire ciò che una lunga pratica mi ha suggerito nei riguardi pratici della produzione di onde corte, riservando infine un capitolo alla modulazione sia a bassa che ad alta frequenza, campo questo suscettibile di fecondo studio sperimentale. Ho chiuso la quarta parte con dati costruttivi e pratici per la generazione di oscillazioni fino alle più alte frequenze.

L' ultima parte che a cagione della mole del libro, ho dovuto fortemente ridurre, è un tentativo per fornire all' esperimentatore che è già padrone del campo, i più semplici mezzi per procedere positivamente. Essa contiene perciò assieme a descrizioni costruttive degli apparecchi di misura, suggerimenti e consigli circa particolari montaggi e sistemi che si distinguono per la semplicità.

Il capitolo dedicato alle esperienze sulla propagazione, che è l' ultimo mentre dovrebbe essere il fondamentale, resta per ora un breve elenco di esperienze già eseguite o ancora da eseguire. Io mi auguro che risultati nuovi da parte di molti lettori, riescano a dargli molto presto il suo vero e predominante posto.

* * *

In un campo in evoluzione come quello trattato riesce arduo lo scrivere poichè il progresso alle volte è più rapido del lento accumularsi dei caratteri da stampa.

Ho cominciato a scrivere sul finire del 1924 in Oceano (Campagna di S. A. R. il Principe di Piemonte nell' America Latina) durante gli intervalli fra una esperienza e l' altra ed oggi ritrovo ben poco di quanto scrissi allora, dopo le modifiche e le aggiunte che mi hanno suggerito esperienze più recenti, delle quali ho tenuto conto fino agli ultimi istanti della stampa.

Io penso che sia necessaria una periodica ed ordinata sintesi degli elementi del poderoso problema per iniziare su vasta scala un forte numero di persone, specialmente di giovani, alla pratica di questo campo e mi sono tenuto appunto a questo concetto col desiderio di costruire e divulgare un piano dal quale potesse partire ogni esperimentatore.

Aristotile e Galileo lasciarono una massima che il professore Righi fece incidere sulle pareti della nostra aula di Fisica: « quello che l' esperienza e il senso ci dimostrano si deve anteporre ad ogni discorso ancorchè ne paresse assai fondato » e che mi piace qui ricordare riconoscendola molto appropriata alla nuovissima Scienza delle comunicazioni senza filo.

L' indole di questo libro è infatti esperimentale *e nello scriverlo mi sono proposto di renderlo accessibile al maggior numero di persone.*

Per questa ragione, se pure spesso con notevoli difficoltà, ho evitato ogni svolgimento matematico, cercando tuttavia che il

lettore possa ben rendersi conto dei fenomeni esaminati per poterli poi al caso approfondire con sicurezza.

Ho usato così qualche volta una terminologia inconciliabile con la rigida espressione teorica: e di ciò chiedo venia ai matematici e ai fisici.

* * *

Il mio sentimento di riconoscenza per coloro che direttamente o indirettamente contribuirono alla realizzazione di questo lavoro mi rende molto gradita la possibilità di ringraziare qui i professori Sassi e Guarducci ai quali debbo ogni aiuto durante le mie prime esperienze, l'ammiraglio prof. Alberto Alessio, l'ammiraglio conte Attilio Bonaldi e il comandante Giuseppe Pession, che accolsero e propugnarono l'idea delle prime prove oceaniche su onde corte, gli Enti Nazionali ed Esteri che inviarono dati, referenze ecc., i professori Majorana, Vanni, Alexanderson, Hulbert, Mesny e Taylor che mi fornirono documenti e consigli nei riguardi dello studio esperimentale sulla propagazione ed infine i miei Genitori e i miei Fratelli che molto mi aiutarono nella compilazione.

Nè posso tacere un commosso riconoscente saluto alla memoria del compianto comm. Oliviero Franchi della Casa Editrice Zanichelli il quale aveva accolto e portato a termine con entusiasmo e con amore l'idea di questo lavoro.

Maggio del 1927.

ADRIANO CAVALIERI DUCATI

INDICE

PARTE I. - RICHIAMO AGLI ELEMENTI

CAPITOLO I. - **Elementi fondamentali.**

CAPITOLO II. - **Le oscillazioni elettriche.**

CAPITOLO III. - **La valvola ionica.**

PARTE II. - LA RICEZIONE

CAPITOLO I. - **Amplificazione.**

CAPITOLO II. - **Costruzione di amplificatori.**

CAPITOLO III. - **Amplificatori neutralizzati e riflessi.**

CAPITOLO IV. - **Il sistema super-eterodina.**

CAPITOLO V. - **Il sistema super-reazione.**

CAPITOLO VI. - **La ricezione di onde corte.**

PARTE III. - IRRADIAZIONE

CAPITOLO I. - **Il sistema radiante.**

CAPITOLO II. - **Costruzione del sistema radiante.**

CAPITOLO III. - **Misura della lunghezza d'onda.**

PARTE IV. - LA TRASMISSIONE

CAPITOLO I. - **Le onde corte.**

CAPITOLO II. - **Generazione delle oscillazioni.**

CAPITOLO III. - **Alimentazione con corrente continua.**

CAPITOLO IV. - **Alimentazione con corrente alternata.**

CAPITOLO V. - **La modulazione.**

CAPITOLO VI. - **Pratica dei trasmettitori.**

PARTE V. - ESPERIENZE E MISURE

CAPITOLO I. - **Istrumenti di misura.**

CAPITOLO II. - **Misure.**

CAPITOLO III. - **Esperienze.**

APPENDICE

LE ONDE CORTE

NELLE

COMUNICAZIONI RADIOELETTRICHE

PARTE PRIMA

CAPITOLO I.

ELEMENTI FONDAMENTALI

Teoria Elettronica. — L'*atomo* sebbene rappresenti la più piccola particella che conserva i caratteri della sostanza che lo possiede, è costituito a sua volta, da un insieme di « corpuscoli » variamente disposti.

Questi « corpuscoli », separati dall'atomo, non presentano alcuna delle proprietà della sostanza che da prima costituivano, ed anzi, qualunque sia la natura di questa, essi ci appaiono assolutamente identici fra di loro.

Siamo allora spinti a credere, che la natura della materia, nelle sue infinite manifestazioni fisiche, sia unica ed universale.

Oggi la Scienza ha solide ragioni per stabilire, che questo Ente costitutivo, unico ed universale, altro non sia che *elettricità.*

Il « *corpuscolo* », unità fondamentale di materia, si pensa perciò costituito dalla più piccola quantità di elettricità, o in altre parole esso rappresenta un « atomo » di elettricità.

Appunto per questo gli è stato imposto il nome di *elettrone.*

Si è convenuto da tempo che l'elettricità possa presentarsi sotto due differenti aspetti: negativa e positiva. Sotto questo punto di vista l'elettrone rappresenta la più piccola parte di elettricità *negativa.*

L'elettrone positivo (*protone*) o ultima carica di elettricità positiva, non si è ancora potuto isolare dalla materia: si ammette infatti che ogni atomo materiale possieda in se una carica positiva centrale, che è neutralizzata da un numero adatto di cariche negative (elettroni) che la circondano, e in questo caso l'atomo ci si presenta *neutro* (fig. 1).

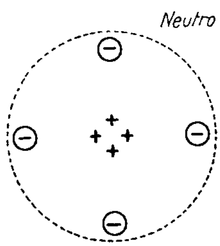


Fig. 1.

Gli elettroni si muovono continuamente in orbite chiuse e determinate attorno alla carica centrale positiva, formando un complesso stabile ed invariabile, poichè l'ordine di grandezza delle forze reciproche di attrazione è straordinariamente grande.

Però in determinate condizioni, è possibile togliere all'atomo qualche elettrone: la compensazione viene allora a mancare, ed esso ci si presenta

come carico *positivamente;* aggiungendone invece, la compensazione viene pure a mancare per eccesso, e l'atomo presenta una carica *negativa.*

Generalmente non è possibile togliere più di *un* elettrone da ogni atomo. Allora il corpo che possiede questo atomo presenta una debolissima carica positiva: più sono gli atomi di questo corpo che hanno perduto un elettrone più intensa ci appare la sua carica elettrica (fig. 2).

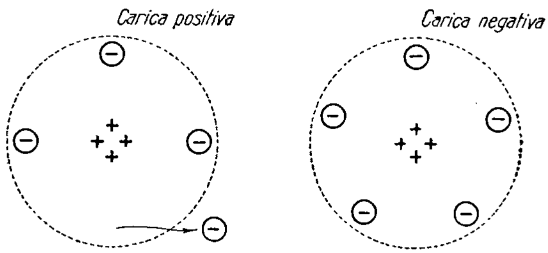


Fig. 2.

Gli elettroni liberati dall'atomo, possono muoversi attraverso gli spazi interatomici. La corrente elettrica è infatti formata dal movimento di elettroni. Ma la quantità di elettricità trasportata da un elettrone è estremamente piccola ed occorre un numero grandissimo di questi, perchè il trasporto venga rivelato dai nostri più sensibili istrumenti.

Così per avere in un circuito la corrente di un *ampere,* debbono passare in esso, circa dieci miliardi di miliardi di elettroni ogni minuto secondo. Questa quantità può ottenersi, in un tempo determinato, con un flusso ridotto di elettroni dotati di grande velocità, o con un flusso maggiore dotato di velocità ridotta. Analogamente è possibile riempire un serbatoio, in un tempo determinato, sia immettendogli un piccolo getto d'acqua dotato di grande velocità (sotto alta pressione), sia facendo sgorgare in esso una grande quantità d'acqua a velocità ridotta.

La velocità di traslazione degli elettroni *nei conduttori* è molto piccola. Riprendendo l'esempio della corrente di un ampere attraverso un filo di rame di un millimetro di diametro, e supponendo che questo contenga tanti elettroni liberi quanti atomi, la velocità di traslazione sarebbe di un decimo di millimetro al minuto secondo, e non arriverebbe al centimetro neppure al punto di fusione del filo. Una velocità così piccola è dovuta al grande numero di collisioni con le molecole e gli atomi, che accadono durante il movimento degli elettroni ([1]).

([1]) Ciò non significa che la velocità *propria* degli elettroni sia così lenta, poichè essi sono in continuo stato di agitazione *termica* e si muovono a velocità milioni di volte maggiori.

Questo ostacolo al libero movimento dell'elettrone costituisce la cosidetta *resistenza* elettrica. L'entità di questa varia da corpo a corpo e con la temperatura, poichè in ambedue i casi il numero delle collisioni viene ad essere variato.

Aumentando la quantità di elettricità (corrente) che attraversa un determinato conduttore, si nota aumento di temperatura, appunto perchè il numero delle collisioni fra elettroni ed atomi aumenta.

Per la stessa ragione aumentando la temperatura del conduttore si nota aumento di resistenza (1).

I corpi che presentano una resistenza grandissima al passaggio della corrente elettrica, si dicono *isolanti* o *dielettrici*. I loro atomi, inversamente a quelli dei conduttori, possono molto difficilmente perdere elettroni, così che il trasporto elettrico non può venire effettuato.

Aumentando la temperatura e quindi l'agitazione del castello atomico, si riesce spesso a liberare un certo numero di elettroni e a permettere il passaggio della corrente elettrica. Un esempio tipico lo dà il vetro, che riscaldato fortemente si comporta come un conduttore.

D'altra parte è possibile ottenere la separazione, aumentando convenientemente la forza attrattiva o tensione che agisce sugli elettroni. Così i più perfetti isolanti sono attraversati dalla scarica elettrica quando la tensione applicata è di sufficiente grandezza.

Induzione. — Esperienze molto note dimostrano, che avvicinando un conduttore elettrizzato (contenente una certa carica elettrica) ad un conduttore allo stato neutro, si nota in quest'ultimo una carica elettrica, che scompare quando si allontana il primo. Più precisamente la carica possiede segno contrario all'estremità vicina a questo, e lo stesso segno all'estremità più lontana (fig. 3).

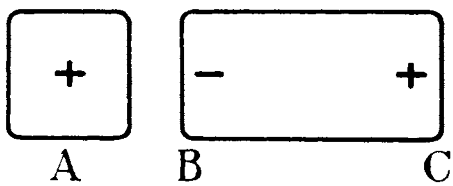


Fig. 3.

Ciò si spiega facilmente applicando la concezione elettronica. Infatti, supposta positiva la carica *A*, essa attira elettroni in *B*. L'equilibrio che rendeva neutro il conduttore viene in questo modo a mancare; abbiamo cioè in *B* atomi con un elettrone in più e in *C* atomi con un elettrone in meno. Si nota quindi una carica negativa e una positiva

(1) Spesso in pratica si nota l'effetto contrario, perchè l'aumentata agitazione termica facilita la liberazione di elettroni dagli atomi.

nei due punti rispettivi. Allontanando A, cessa ogni azione attrattiva, si ha di nuovo la neutralizzazione, ed ogni carica deve sparire.

Si distingue in pratica A come corpo *inducente*, BC come *indotto* e il fenomeno prende il nome di *induzione elettrica.*

Alla stessa guisa può spiegarsi un'altra interessante esperienza: se si pone il corpo indotto in contatto con la terra e quindi si allontana l'inducente, togliendo nello stesso tempo il contatto, si nota che il corpo indotto possiede una carica permanente di elettricità *negativa.* Sappiamo infatti che quando BC è sotto l'influenza di A, molti atomi in C sono privi di un elettrone. Realizzando il contatto col suolo diamo a questi il modo di richiamare elettroni dalla terra, fino a ristabilire l'equilibrio. Ma quando l'azione inducente viene a mancare, gli elettroni non più attirati in B, risultando in eccesso, si dispongono variamente e il corpo presenta la carica negativa che ci indica l'esperienza.

Molti altri fenomeni si potrebbero spiegare alla stessa guisa. Questo accenno alle due classiche esperienze dell'elettrostatica, ha lo scopo di famigliarizzare il lettore con la moderna concezione elettronica.

Lavoro ed energia. — Il *lavoro* è una quantità fisica strettamente legata al movimento.

Più precisamente lo si è definito come il prodotto della *forza* agente, per la *distanza* percorsa. Si dice infatti che per spostare qualche cosa da un punto ad un altro occorre un certo lavoro.

La quantità fisica posseduta dai corpi, che per particolari condizioni di posizione, di velocità, elettriche, chimiche, termiche, ecc. possono compiere un lavoro, si dice *energia.*

L'energia spesa per compiere un determinato lavoro, misura l'entità di questo lavoro.

Ma l'energia non si crea nè si distrugge, poichè la sua grandezza nell'Universo, è costante ed immutabile.

Essa può soltanto trasformarsi.

Le più comuni forme di energia sono la meccanica, la chimica, la termica e l'elettrica.

Secondo il principio della conservazione, la trasformazione di energia da una forma all'altra, dovrebbe essere totale e completa: così per esempio una quantità X, di energia meccanica, dovrebbe trasformarsi in una quantità X di energia elettrica.

Praticamente però, ogni trasformazione non è unica, ma accompagnata da trasformazioni secondarie: così la nostra energia elettrica trasformata, rappresenta soltanto una parte di quella meccanica,

poichè il rimanente è costituito da energie secondarie componenti (termiche, ecc.).

Ben difficilmente queste energie secondarie vengono utilizzate: esse rappresentano quindi per noi, una *perdita.*

La percentuale di energia effettivamente utilizzata rispetto a quella primaria, esprime il *rendimento* della trasformazione.

L'energia meccanica può presentarsi in due forme: quella posseduta dai corpi per la loro *posizione* statica, e quella dovuta al *movimento* di questi. La prima dicesi energia *potenziale,* la seconda, energia *cinetica.*

Un corpo sospeso comunque in alto, possiede energia potenziale, poichè cade se è abbandonato. Questa energia è tanto maggiore quanto più grande è la sua altezza rispetto al suolo. Appena comincia la caduta si inizia la trasformazione dell'energia potenziale in energia cinetica e a trasformazione completa (fine della caduta), tutta l'energia cinetica acquistata cambia ancora di forma, per trasformarsi quindi di nuovo e così di seguito, indefinitamente.

Ogni trasformazione di energia richiede lavoro.

Pure l'energia elettrica si presenta in due forme: quella dovuta alla presenza statica di una certa quantità di elettricità e quella dovuta al movimento di questa. Esse, analogamente a quelle meccaniche, ricevono i nomi di energia *elettrostatica* e energia *magnetica.*

Differenza di potenziale e forza elettromotrice. — Supponiamo due sfere elettrizzate A e B situate ad una certa distanza e *ben fissate* (fig. 4). Esse si attirano o respingono a seconda del loro segno, ma non possono tuttavia muoversi.

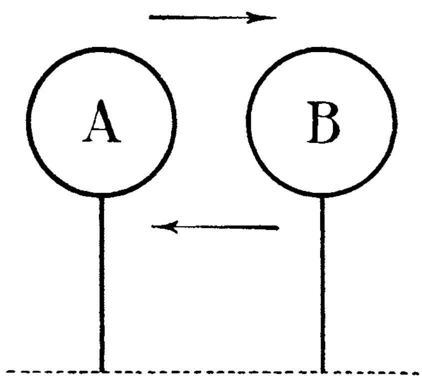


Fig. 4.

Sono quindi sottoposte ad una forza analoga a quella che agisce su un corpo sospeso in alto (gravità) e possiedono allora energia potenziale. Questa energia potenziale elettrostatica dicesi *potenziale elettrico,* e se due corpi ne posseggono quantità differenti, si dice che fra loro esiste una certa *differenza di potenziale.*

Se congiungiamo metallicamente i due corpi A e B, supposti a differente potenziale, otteniamo una corrente elettrica istantanea, che annulla questa differenza. La differenza di potenziale non può quindi

sussistere nel caso dell'elettricità in movimento: essa è strettamente egata ai fenomeni dell'elettricità in equilibrio o elettrostatici.

Ma perchè una corrente elettrica fluisca attraverso un conduttore, occorre che ai suoi estremi esista continuamente una differenza di potenziale.

La forza necessaria a mantenere costante la differenza di potenziale, mentre una corrente elettrica fluisce, è detta *forza elettro motrice* (f. e. m.).

La forza elettromotrice è quindi strettamente legata ai fenomeni dell'elettricità in movimento o magnetici.

Si convenne che il fluire della corrente elettrica fosse diretto dai punti a potenziale positivo a quelli a potenziale negativo. Modernamente invece, numerose esperienze e specialmente lo studio della pura scarica elettronica, ci hanno provato che *la corrente elettrica fluisce dai punti a potenziale negativo a quelli a potenziale positivo.*

Campi elettrici. — Le azioni meccaniche, elettriche e magnetiche che intervengono fra corpi situati a distanza e senza nessun collegamento apparente, rappresentano l'assillo dei fisici di ogni tempo.

Il nostro senso comune si ribella ad ammettere la possibilità di azioni a distanza, senza l'aiuto di un mezzo materiale.

Si stabilì allora che tutti i corpi dell' Universo, fossero intimamente collegati e che questa unione fosse determinata da un mezzo ipotetico, chiamato *etere*. L'essenza dell'etere è difficilmente concepibile. Infatti per varie ragioni, esso dovrebbe presentare una estrema rigidità ed una infinita fluidità, cioè caratteristiche di perfetto solido e di perfetto fluido ad un tempo.

L'ammettere l'esistenza dell'etere ha fornito fino ai nostri giorni spiegazioni attendibili di importanti fenomeni fisici: moderne esperienze e teorie, tendono però a renderne ancor più evidenti le contraddizioni e le incertezze. Tuttavia, finchè non si conoscerà qualche cosa di più positivo, è conveniente ammetterlo senz'altro.

Diremo quindi che tutti i corpi sono immersi nell'etere, che li compenetra intimamente, anche negli spazi interatomici, e che le azioni a distanza si suppongono dovute a deformazioni elastiche dell'etere, che si verificano con l'intervento di forze elettriche, magnetiche, ecc.

La regione dello spazio nella quale i nostri istrumenti ci permettono di rivelare queste deformazioni e quindi eventuali azioni elettriche, magnetiche, ecc. si dice *campo* elettrico, magnetico, ecc.

Sebbene teoricamente questa regione si estenda fino all'infinito, ciò non si verifica in pratica, specialmente per l'imperfezione dei nostri mezzi di rivelazione. Così per esempio il campo elettrico di una sferetta elettrizzata

può essere notato a qualche metro di distanza, quello dell' « antenna » di una potente stazione radioelettrica a qualche chilometro, quello magnetico terrestre in qualunque punto del nostro globo, ecc.

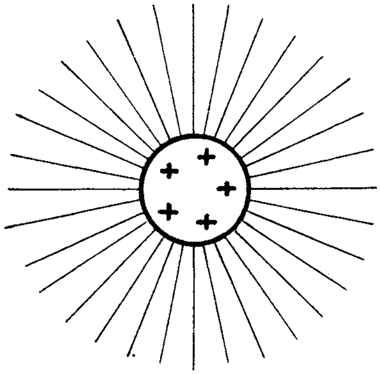


Fig. 5.

Si è stabilito di rappresentare l'esistenza di un campo, a mezzo di linee, la direzione delle quali indica la direzione della forza agente e il loro numero per unità di superficie, l'intensità.

Supponiamo ad esempio una sferetta caricata positivamente (fig. 5). La direzione del campo attorno ad essa, è rappresentata dalle linee secondo le quali una infinitesima carica positiva sarebbe respinta.

Queste si dicono *linee di forza* e sono dirette dal centro della sfera all'infinito nel caso teorico nel quale questa fosse infinitamente distante da qualsiasi altro corpo.

Questo caso è impossibile a verificarsi in pratica, per l'influenza dei

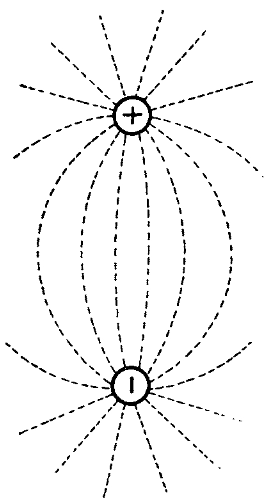


Fig. 6.

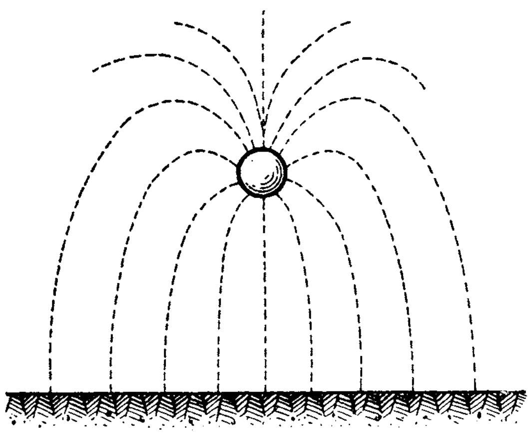


Fig. 7.

corpi vicini, quindi le linee di forza risultano generalmente curve e più o meno complesse (fig. 6 e 7).

Alla stessa guisa si rappresenterebbero i campi generati da corpi magnetici, masse soggette a gravità, ecc.

Capacità elettrica. — Sappiamo che un corpo elettrizzato esercita azioni a distanza deformando il mezzo che lo circonda.

Questo a sua volta reagisce sulle cariche elettriche del corpo stesso, impedendo loro di attraversare il mezzo isolante o dielettrico.

Più precisamente, non appena si imprime una differenza di potenziale al conduttore, si ha un effettivo movimento di elettricità nel dielettrico (etere compreso nel dielettrico) circostante, ma questo movimento dura un tempo brevissimo perchè ostacolato dalla reazione su ricordata.

Allorchè cessa la forza elettrica, il mezzo, ritornando alla sua posizione di equilibrio, fa nascere una nuova corrente diretta in senso contrario alla prima.

Queste correnti vengono chiamate *correnti di spostamento* o *dielettriche.* Quanto più elevata la differenza di potenziale, tanto più intensa la corrente di spostamento e quindi tanto maggiore la quantità di elettricità portata sul conduttore.

Sotto questo riguardo esso può considerarsi come un vero e proprio serbatoio, possedente cioè una certa capacità.

Per illustrare meglio il concetto, immaginiamo un serbatoio a perfetta tenuta nel quale si immetta un gas proveniente da un altro serbatoio. Il flusso del gas va man mano diminuendo, fino ad annullarsi, quando la pressione del gas immagazzinato uguaglia quella del gas in arrivo. Questa pressione interna in antagonismo con quella esterna, è perfettamente paragonabile alla reazione del mezzo dielettrico sulla corrente di spostamento.

La capacità del serbatoio dipende esclusivamente dalla pressione del gas in arrivo: infatti raddoppiando quest'ultima, si nota che anche quella raddoppia. Anche in questo caso l'analogia fra la capacità del serbatoio e quella elettrica di un conduttore, nei riguardi della rispettiva pressione e tensione, è perfetta.

Se si aumenta sempre più la pressione del gas in arrivo, si giunge alla rottura del serbatoio. Analogamente aumentando sempre più la differenza di potenziale si riesce a vincere la reazione del mezzo, e la corrente elettrica attraversa il dielettrico.

Si dice allora che si è raggiunto il limite di resistenza dielettrica. Si può quindi affermare che è possibile immagazzinare dell'energia in un conduttore, elettrizzandolo, ma che questa energia (elettrostatica) risiede però completamente nel dielettrico (etere del dielettrico) che lo circonda.

La *capacità* di un conduttore non dipende soltanto dalla differenza di potenziale applicata, ma anche dalla natura del dielettrico che lo circonda e dalla vicinanza di altri corpi.

Infatti, l'entità delle azioni elettriche a distanza, varia cambiando il dielettrico interposto, cioè ognuno di questi ha un *potere induttore specifico* o *costante dielettrica*, particolare.

Si stabilisce che questa sia uguale all'unità per l'aria, e si trovano i valori relativi agli altri mezzi, facendo il rapporto fra la capacità del conduttore circondato da uno di questi, e quella del conduttore circondato dall'aria. Così se una sfera metallica ha capacità 100 restando isolata nello spazio e 300 quando viene immersa in un determinato dielettrico, la costante di questo è uguale a 3 ($^{300}/_{100}$).

È praticamente impossibile che nei pressi del conduttore elettrizzato, non si trovi qualche corpo estraneo; infatti isolandoci coi nostri mezzi nello spazio, avremmo almeno la terra sempre relativamente vicina.

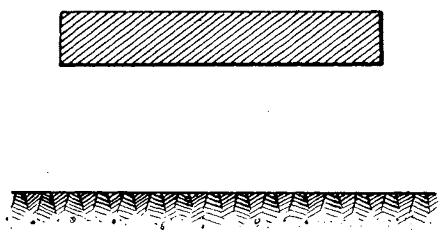


Fig. 8.

Supponiamo appunto di avvicinare il conduttore, alla terra (fig. 8). Se fra i due esiste una certa differenza di potenziale le cariche rispettive si attraggono. Ciò non fa altro che aumentare e facilitare la deformazione dell' etere dielettrico, prolungando la corrente di spostamento, cioè la quantità di elettricità portata al conduttore.

In altri termini la capacità di questo risulta maggiore.

Tanto più intense le attrazioni reciproche (tanto più vicini i due conduttori), tanto più lunga la durata della corrente di spostamento e quindi tanto maggiore la capacità.

Praticamente, avvicinando di molto due conduttori, si riesce ad avere una grande capacità con dimensioni relativamente ridotte: il complesso così realizzato prende il nome di *condensatore*.

Ricordando quanto si è detto, possiamo dire che la capacità di un condensatore dipende essenzialmente dalla d. d. p. applicata, dalla natura del dielettrico interposto fra le armature, e dalla distanza di queste.

Per queste ragioni è impossibile esprimere con un numero fisso, la quantità di elettricità che un determinato condensatore può contenere. Infatti, ritornando al nostro esempio meccanico, supponiamo di avere alcuni serbatoi per aria compressa di differenti dimensioni: per conoscere la loro capacità occorre misurare la quantità d'aria che essi possono contenere, in determinate condizioni di pressione, temperatura, ecc.

Si ha allora un *dato relativo* a quelle determinate condizioni.

Lo stesso accade per il nostro condensatore, e il dato relativo che indica la quantità di elettricità contenuta in determinate condizioni, dicesi *capacità elettrostatica* del condensatore.

Supponiamo infatti di collegarlo ad una sorgente di elettricità (pila per esempio) fig. 9. Non appena si effettua il collegamento, si ottiene una corrente di spostamento nel dielettrico, che dura finchè le due armature *a* e *b* sono portate alla stessa differenza di potenziale dei punti *a'* e *b'*. Se le armature *a* e *b* fossero state più ampie o più vicine, la corrente di spostamento sarebbe stata più intensa e quindi la quantità di elettricità maggiore, per raggiungere la *stessa* differenza di potenziale.

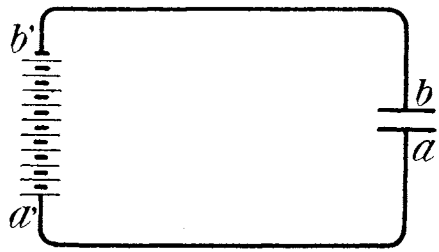


Fig. 9.

Basandosi su ciò, si è stabilito che l' unità di capacità (*farad*) sia posseduta da quel condensatore che richiede l'unità di elettricità (*coulomb*) per avere agli estremi l' unità di potenziale (*volt*). Per caricarlo occorrerebbe una corrente di un ampere per la durata di un secondo o di un milliampere per mille secondi. Questa unità è troppo grande per gli usi pratici comuni, e quindi se ne adotta la milionesima parte detta *microfarad* (mf).

Il microfarad è la capacità posseduta da una sfera conduttrice di 9 chilometri di diametro, mentre per il farad occorrerebbe un sfera di diametro maggiore a quello terrestre.

Nelle applicazioni radio-elettriche anche il microfarad si usa raramente. Se ne sono scelti quindi il millesimo e il milionesimo detti rispettivamente *millimicrofarad* (mmf) e *micro-microfarad* ($\mu\mu$f).

La *capacità* è una delle quantità più importanti nelle applicazioni radio-elettriche.

Campo magnetico. — Sono note le azioni reciproche di attrazione e repulsione che intervengono fra i corpi cosidetti *magnetici.*

Esse possono spiegarsi in modo analogo a quelle che intervengono fra i corpi elettrizzati. Cioè in una speciale deformazione del mezzo circostante, per la quale viene in esso immagazzinata una certa quantità di energia. Questa viene denominata *energia magnetica.*

Abbiamo quindi un *campo magnetico* (regione dello spazio dove è possibile rivelare azioni magnetiche) delle *linee di forza magnetica,* un

potenziale magnetico ecc. in tutto simili alle quantità elettrostatiche, eccettuando naturalmente la loro natura intrinseca.

Si osservò come le azioni magnetiche possano collegarsi ai fenomeni dell'elettricità in movimento, e come anzi ne costituiscano la principale caratteristica. Infatti, quando una corrente elettrica fluisce in un conduttore, si nota nel mezzo circostante la presenza di un campo magnetico (fig. 10).

L' intensità e la direzione di questo, dipendono dalla natura del mezzo e dall' intensità e dalla direzione della corrente nel conduttore.

Per trovare la direzione del campo serve la *regola di Ampere*. Puntato cioè il pollice della mano destra nella direzione della corrente [1] le altre dita della mano indicano la direzione del campo (fig. 11).

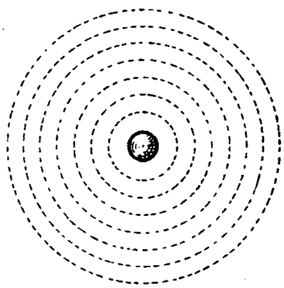


Fig. 10.

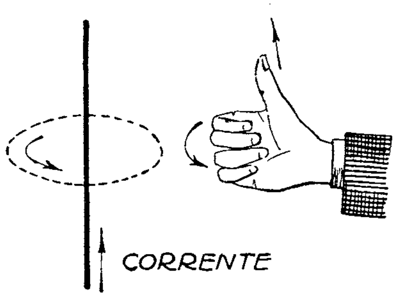


Fig. 11.

Questa regola ci ricorda molto semplicemente che *la direzione del campo magnetico si inverte simultaneamente con la direzione della corrente.*

Per concentrare il campo magnetico in uno spazio limitato, si usa un lungo conduttore avvolto a spirale. L' intensità del campo così generato è proporzionale non solo all' intensità della corrente che attraversa l'avvolgimento, ma anche al numero delle spire che lo compongono.

Si può quindi dire che è proporzionale al prodotto di queste due quantità, cioè agli *ampere-giri* dell'avvolgimento.

Così il campo magnetico generato da una spira percorsa da una corrente di 100 unità, è equivalente a quello generato da 100 spire percorse da 1 unità.

[1] Assumendo la corrente diretta da punti a potenziale positivo a punti a potenziale negativo come si convenne nel passato e quindi in direzione opposta a quella effettiva.

La direzione del campo, per la stessa regola di Ampere, è perpendicolare a quella del piano delle spire (fig. 12).

Finora abbiamo considerato *tutto* il campo magnetico o meglio tutto lo spazio dove questo è rivelabile. Supponiamo invece di considerare una superficie finita e determinata dello spazio.

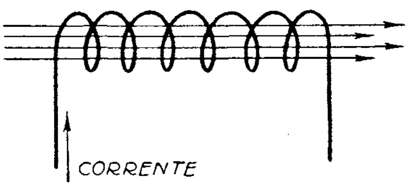


Fig. 12.

L'ammontare della forza magnetica (o in altri termini l'ammontare della deformazione magnetica del mezzo) attraverso all'area considerata, dicesi *flusso* di forza magnetica o *flusso magnetico* (fig. 13). Questa quantità dipende dalla grandezza della superficie considerata, dall'intensità del campo e dalla *permeabilità magnetica* del mezzo.

Si può dire elementarmente, che la suscettibilità della materia o di qualsiasi altro mezzo, a magnetizzarsi, rappresenta la sua permeabilità magnetica.

Stabilito un valore di questa, uguale all'unità per il mezzo *aria*, si sono trovati valori pressochè analoghi per tutte le sostanze conosciute, se si eccettuano alcune di queste (ferro, nichel, cobalto) nelle quali la permeabilità raggiunge valori molto alti.

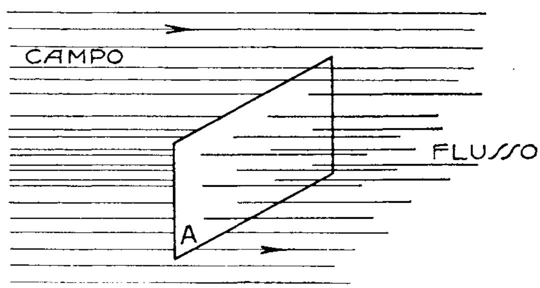


Fig. 13.

Questi corpi si dicono *magnetici*.

Fra tutti eccelle il ferro, che presenta una permeabilità fino a 10 mila volte maggiore di quella dell'aria. Così se una determinata corrente producesse un flusso magnetico X quando il conduttore è nell'aria, sostituendo a questa il ferro, si otterrebbe un flusso, fino a 10 mila volte più intenso.

Induttanza. — Quando una corrente elettrica è lanciata in un conduttore, il mezzo circostante comincia ad essere sottoposto ad una azione o deformazione magnetica. Questa non si effettua però istantaneamente, poichè il mezzo reagisce a sua volta, così che anche la corrente nel circuito raggiunge il suo valore normale, dopo un certo intervallo di tempo.

Così quando si interrompe la corrente, non si ha l'istantaneo annullamento di questa, ma anche ciò succede dopo un certo intervallo di tempo.

Questo fatto può paragonarsi all' *inerzia* meccanica: supponiamo infatti di avere una massa M appoggiata su un piano (fig. 14); se applichiamo a questa una forza per farla strisciare, osserviamo che occorre un certo tempo per raggiungere una velocità costante, appunto perchè al principio è necessario vincere l' inerzia della massa. Una volta raggiunta la velocità di regime, la forza che mantiene il movimento è soltanto quella necessaria ad alimentare le perdite d' *attrito*.

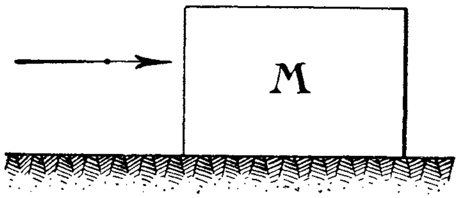


Fig. 14.

Quanto più pesante la massa tanto più lentamente risente delle variazioni della forza applicata, così che anche togliendo completamente questa, essa continua il suo movimento, finchè l' attrito non ha trasformato tutta l' energia cinetica immagazzinata.

L' inerzia elettrica che un conduttore presenta al passaggio della corrente si dice *induttanza*.

Riepilogando quindi diremo *autoinduzione* o *induttanza*, la quantità fisica che indica l' ammontare della deformazione magnetica del mezzo, o in altri termini il valore totale del flusso magnetico per una determinata corrente che attraversa il circuito [1].

Nella pratica è invalso l' uso di chiamare induttanze, sistemi di conduttori relativamente lunghi avvolti a spirale in breve spazio (*bobine*, *rocchetti*, ecc.).

Se facciamo percorrere una di queste induttanze da una corrente elettrica essa determina, al solito, un campo magnetico, l' intensità del quale è variabile al variare della corrente.

Fu scoperto dal Faraday che *tutte le volte che l' intensità del campo è variata, nasce nel conduttore stesso una f. e. m., la quale si sovrappone a quella che lo percorre, cercando di ostacolarne la variazione.* Essa fu chiamata *forza elettromotrice di autoinduzione.*

[1] Una delle espressioni più importanti della meccanica è quella che lega l' *inerzia* o *massa* alla *velocità*. Infatti l' energia posseduta da un corpo in movimento è data da $W = \frac{1}{2} m V^2$. Ora noi possiamo facilmente sostituire ad M, la nostra massa o inerzia elettrica (*induttanza*) e a V, l' (*intensità*) della corrente che attraversa il circuito. Abbiamo in questo modo il valore dell' energia immagazzinata nel campo magnetico dalla $W = \frac{1}{2} L I^2$ dove la lettera L è il simbolo universalmente usato per indicare l' induttanza.

Supponiamo di realizzare il circuito della fig. 15; quando il tasto T è abbassato, una corrente fluisce in una certa direzione e determina un flusso magnetico nell'induttanza L. Alzando il tasto la corrente diminuisce per l'inserzione della resistenza r e alla stessa guisa diminuisce il flusso; ma questa variazione fa nascere nel circuito una *f. e. m.* diretta nello stesso senso di quella che lo percorre, tendente cioè, a mantenere la corrente al suo antico valore.

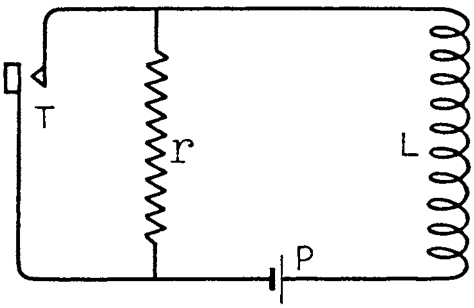


Fig. 15.

Riabbassando il tasto si ha aumento di flusso, quindi la produzione di una *f. e. m.* diretta in senso contrario, tendente pure a mantenere costante il valore della corrente. Il valore di questa *f. e. m.* di autoinduzione dipende da vari fattori, ma principalmente dall'ammontare dell'induttanza (detta anche *coefficiente di autoinduzione*) e dalla rapidità di variazione della corrente che attraversa il circuito.

Poichè l'induttanza è a sua volta direttamente proporzionale alla permeabilità del mezzo e al quadrato del numero delle spire dell'avvolgimento, si notano *f. e. m.* indotte di valori tanto più cospicui, quanto più il mezzo è permeabile (per esempio ferro magnetico) e quante più spire sono percorse dalla corrente.

Dato il grande numero di quantità che possono agire sul valore dell'induttanza, si è dovuto come nel caso della capacità, fissarne un'unità di misura relativa a particolari e costanti condizioni di esperienza. Così si è stabilito, che l'unità di induttanza (*Henry*) sia posseduta da quel conduttore nel quale una corrente di un unità (ampere) che lo percorre determina una *f. e. m.* indotta di un'unità (volt).

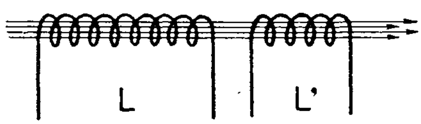


Fig. 16.

Nelle applicazioni pratiche si usa un'unità un milione di volte minore (*microhenry*).

Se avviciniamo ad L (fig. 16) un secondo circuito L', esso pure è attraversato dal flusso magnetico di L, e al variare di questo si desta in esso una *f. e. m.* perfettamente analoga a quella che sappiamo destarsi in L.

Essa prende il nome di *f. e. m. indotta* e il fenomeno chiamato di *induzione mutua* anzichè di autoinduzione.

Il valore di questa *f. e. m.* indotta dipende ancora dalla rapidità della variazione della corrente che attraversa l' avvolgimento inducente, e da un *coefficiente* detto di *induzione mutua.*

Questo coefficiente si misura pure in Henry ed è direttamente proporzionale al rapporto delle spire dei due avvolgimenti e alla loro posizione relativa o *accoppiamento.*

Si dice che l' accoppiamento è totale (o 100 $^0/_0$) quando tutto il flusso generato da un avvolgimento attraversa tutte le spire dell' altro.

Negli usi comuni dell' elettrotecnica, nei quali le variazioni della corrente non sono molto rapide, si cerca di rendere massimo l' accoppiamento ed intenso il più possibile, il flusso.

Negli usi radio-elettrici invece, essendo le variazioni estremamente rapide, l'accoppiamento può essere molto ridotto (meno dell' 1 $^0/_0$) senza che per questo il rendimento venga a diminuire.

Per variare l' accoppiamento vi sono due metodi: o cambiare la posizione relativa delle induttanze o cambiare il numero delle spire influenzate. Così, supposte le due induttanze *A* e *B* (fig. 17) abbiamo un accoppiamento massimo in *P*, perchè esse sono molto vicine, e un accoppiamento minore in P_2 dove esse sono allontanate.

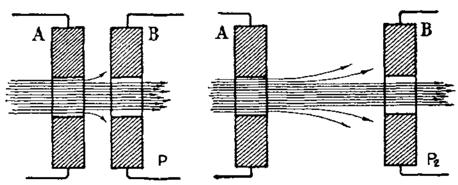


Fig 17

Un accoppiamento ugualmente minore si sarebbe ottenuto allontanando *B*, e avvicinando ad *A* una induttanza molto ridotta in serie con *B* (fig. 18).

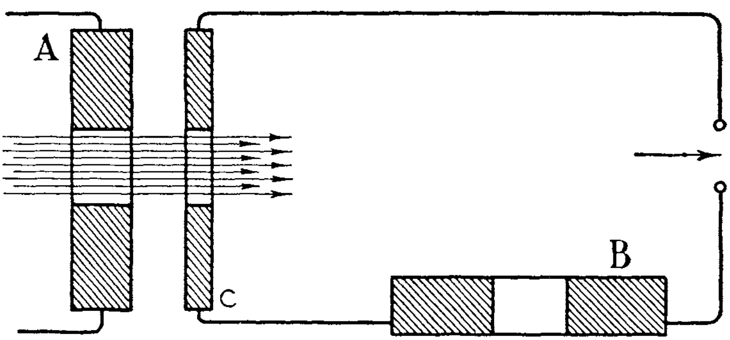


Fig. 18.

In pratica per variare l' accoppiamento si usa fare variabile l' angolo di posizione rispettiva nelle due induttanze, in modo che il flusso abbracciato risulti maggiore o minore.

Così la figura 19 mostra un accoppiamento molto debole realizzato in poco spazio.

Nelle applicazioni che ci interessano l'accoppiamento fra le varie induttanze, è uno dei più importanti fattori.

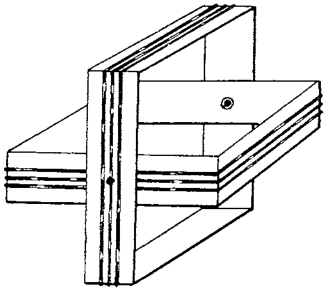


Fig. 19.

Abbiamo veduto come l'induttanza di un avvolgimento dipende dal flusso magnetico che attraversa le sue spire; quindi l'accoppiamento variando l'entità di questo flusso determina variazioni nell'induttanza stessa.

Prendiamo infatti ad esempio due induttanze in serie, e variamo l'accoppiamento partendo dalla posizione P (fig. 20). Supposto che in questa, il senso dei due avvolgimenti sia lo stesso, i due flussi rispettivi sono concordi e massimi.

Si ha quindi un valore massimo di induttanza. Ruotando B e portandoci in P_1 si ha naturalmente diminuzione del flusso attraverso A e B e quindi diminuzione di induttanza.

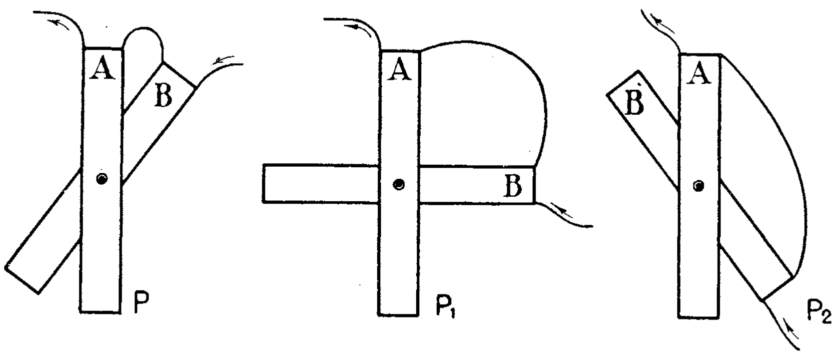


Fig. 20.

A questo punto, il sistema a rotazione permette una nuova ed interessante applicazione, e cioè una ulteriore diminuzione di induttanza, portando B da P_1 in P_2, poichè i due flussi risultando invertiti, si sottraggono a vicenda. Il valore minimo dell'induttanza si ha quindi in P_2.

Questo artificio è molto utile in pratica poichè permette una variazione relativamente vasta del valore di un induttanza, con mezzi molto limitati. L'insieme prende il nome di *variometro* se i due avvolgimenti fanno parte di uno stesso circuito e di *accoppiatore variabile* se sono separati.

Resistenza elettrica. — I fenomeni considerati richiedono il movimento di una corrente elettrica attraverso un conduttore, ma perchè questo movimento abbia luogo occorre spendere una certa quantità di energia.

Analogamente per fare strisciare un corpo su un piano, occorre spendere energia per vincere l'attrito.

L'attrito elettrico viene chiamato *resistenza*.

Essa rappresenta quasi sempre una perdita per noi, cioè una trasformazione di energia elettrica in energia termica, luminosa ecc. (v. pag. 6).

Considerato sotto questo punto di vista (cioè come quantità esprimente l'energia dissipata in un circuito) il concetto di resistenza può essere ampliato.

Possiamo allora esprimere *in termini di resistenza*, le perdite di energia elettrica anche di natura del tutto differenti di quelle che subentrano per il passaggio di una corrente in un filo.

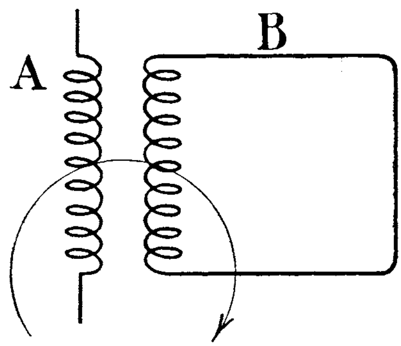


Fig. 21.

Sia dato infatti un circuito *A* (fig. 21) di minima resistenza per la corrente variabile che lo attraversa. Se si accoppia a questo un circuito *B* di grande resistenza o mal costruito ecc., esso assorbe da *A* una certa quantità di energia.

È evidente che la stessa cosa si sarebbe potuta ottenere aumentando la resistenza o le perdite di *A*. Si è convenuto allora di dire che la resistenza di *A* è aumentata.

Supponiamo un altro caso: un conduttore in determinate condizioni *irradia* della energia elettrica: questa può ancora considerarsi come una perdita o dissipazione, poichè si sottrae all'energia totale, e quindi è possibile esprimerla in termini di resistenza (d'irradiazione).

Nella pratica radio elettrica questo concetto è largamente usato. Ohm trovò che la f. e. m. è proporzionale al prodotto dell'intensità della corrente per la resistenza totale del circuito; quindi inversamente che la resistenza è proporzionale al rapporto tra la f. e. m. e l'intensità della corrente [1].

[1] Adottando le unità internazionali di misura si hanno le classiche formule di Ohm.

$$R = \frac{e}{i} \qquad e = Ri \qquad i = \frac{e}{R}.$$

Dove R esprime in resistenza in Ohms, e la f. e. m. in Volts, i l'intensità della corrente in Amperes.

Ma questa legge si presenta utile, soltanto quando il circuito attraversato dalla corrente non oppone che resistenza *pura* al passaggio di questa, cioè quando *tutta* la f. e. m. è appunto usata per vincere la resistenza.

Ma spesso in pratica si da il caso, in modo speciale quando la corrente è variabile, che il circuito attraversato divenga sede di f. e. m. contrarie, che reagiscono su quella agente, diminuendone il valore. La corrente allora è minore di quella che potrebbe calcolarsi dalla legge di Ohm conoscendo il valore della resistenza, oppure quest'ultimo riesce molto più elevato del reale, calcolandolo dai valori della f. e. m. e della corrente.

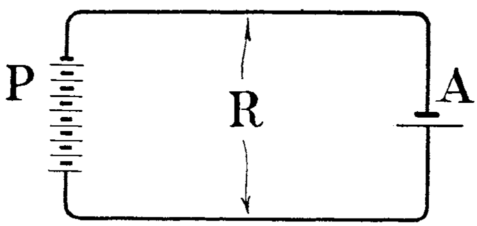


Fig. 22.

La resistenza ha quindi un valore *apparente*.

Supponiamo infatti di caricare l'accumulatore *A* (fig. 22) con una pila *P*. Sia 6 ad esempio, il valore della f. e. m. della pila e 2 quello della corrente. La resistenza del circuito per la legge di Ohm è eguale a 3. Ma pure l'accumulatore *A* possiede una f. e. m. (supponiamo di valore 2), diretta in modo da ostacolare quella di *P*. Il valore effettivo della f. e. m. agente, è dato dalla differenza delle due f. e. m., quindi è eguale a 4. La resistenza reale è allora soltanto di 2 unità, anzichè di 3 come da prima si era calcolato.

La stessa cosa accadrebbe usando una corrente variabile e una induttanza al posto di *A*, poichè la f. e. m. indotta (v. pag. 16) farebbe apparire la resistenza del circuito molto più elevata del reale.

Per queste regioni si è adottata un altra espressione per esprimere la resistenza, basata sugli effetti *termici* della corrente.

Joule trovò che il calore generato da una certa corrente elettrica è proporzionale alla resistenza del circuito e al quadrato della intensità della corrente che lo attraversa.

Poichè abbiamo già veduto come sia possibile esprimere in termini di resistenza l'energia dissipata in un circuito, la legge di Joule ci permette una migliore applicazione del concetto con la formula classica:

$$\text{Potenza dissipata} = RI^2$$

che è molto importante e serve di base nelle applicazioni elettriche.

Supponiamo ora il circuito *r* nella fig. 23.

Una certa potenza entra da *G* e viene dissipata in *R*. Se *R* dissipa più potenza di quanto non entri da *G*, la resistenza del circuito viene detta *positiva.*

Se succede il contrario, cioè se la potenza che entra da *G* è maggiore di quella dissipata da *R*, la resistenza si dice *negativa.*

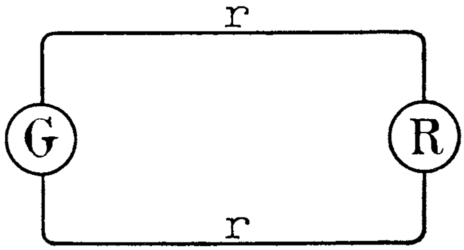


Fig. 23.

Se le due quantità sono eguali la resistenza è naturalmente *nulla.*

Sotto questo punto di vista il circuito percorso da una corrente continua e costante ha una resistenza nulla, poichè riceve dall' esterno tanta potenza quanta ne dissipa.

Al momento di applicazione, la corrente impiega un certo tempo per raggiungere il suo valore normale (auto induzione). Durante questo periodo, la resistenza del circuito è negativa perchè riceve maggiore potenza di quanta ne dissipa.

Il caso inverso succede quando si toglie la corrente.

Questa convenzione è specialmente utile nello studio dei fenomeni dovuti a correnti variabili.

Correnti alternate. — Abbiamo accennato finora a particolari fenomeni che si verificano in un circuito al variare della corrente che lo percorre o del flusso magnetico che lo attraversa, e più particolarmente come ad ogni variazione corrisponda il sorgere di una f. e. m. indotta, diretta sempre in modo da ostacolare l' azione che la produce. Così per esempio, se questa fosse prodotta avvicinando una calamita, la corrente indotta sarebbe diretta in modo, da esercitare una repulsione su questa.

Stabiliamo ora di variare con continuità il flusso che attraversa il circuito, seguendo un determinato andamento ciclico: la f. e. m. indotta, segue fedelmente questo andamento e precisamente varia di intensità e direzione al variare dell' intensità e della direzione del flusso.

Supponiamo di realizzare il sistema della fig. 24, cioè una sbarra calamitata che possa ruotare in prossimità di un circuito *L*.

Quando essa si trova nella posizione *A*, *L* è attraversato da un flusso magnetico di intensità massima. Quando la calamita comincia a ruotare, il flusso va diminuendo per annullarsi in *B*. Continuando la

rotazione il flusso ricomincia ad aumentare (ma con direzione invertita) fino a raggiungere un massimo in *C*, per poi ritornare gradualmente allo zero, ruotando fra *C* e *D*.

Se la velocità di rotazione è costante, si ottiene un flusso continuamente variabile, secondo la legge ciclica esposta; e poichè la f. e. m. indotta segue fedelmente ogni variazione, il circuito *L* è percorso da una corrente variabile che raggiunge massimi opposti passando per il valore zero, cioè da una *corrente alternata*.

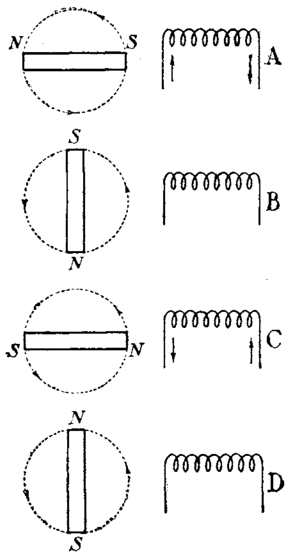


Fig 24.

La direzione di una corrente alternata si inverte quindi, ad intervalli uguali d tempo.

Se volessimo illustrare graficamente questo andamento otterremmo una curva simile a quella della fig. 25.

In pratica si adotta (o si suppone spesso per comodità di calcolo) un ciclo particolare di variazione del flusso o della corrente, ecc. Questo ciclo viene chiamato *sinusoidale* poichè è governato da una particolare legge geometrica, e più precisamente perchè i valori assunti dalle grandezze elettriche durante un ciclo completo, sono proporzionali a quelli che il *seno* di un angolo assume nel suo ciclo geometrico.

Questo andamento può esprimersi con una curva analoga a quella

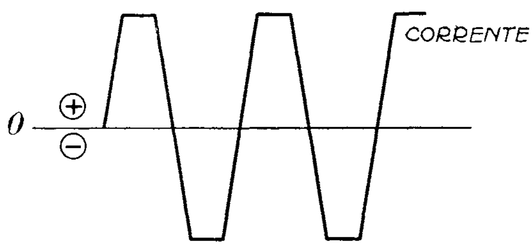


Fig 25.

della fig. 25 e di aspetto caratteristico detta appunto *curva dei seni* o *sinusoide*. (fig. 26)

Esiste naturalmente un infinito numero di fasi o stadi, ai quali corrispondono valori uguali o differenti della grandezza. L'intervallo di tempo che separa due di questi stadi, pei quali l'intensità e la direzione

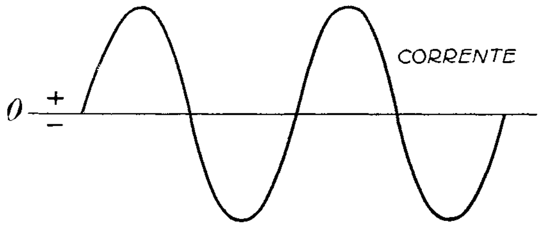


Fig. 26.

della grandezza sono uguali, dicesi *periodo*, e i singoli stadi si chiamano alla loro volta *fasi* del periodo.

La *frequenza* della corrente alternata è determinata dal numero dei periodi compresi nell'unità di tempo. Così se il periodo è di un ennesimo di secondo si dice che la frequenza è di *n* periodi.

Caratteristiche delle correnti alternate. — Applicando una f. e. m. continua agli estremi di un *condensatore* si notava il passaggio di una corrente elettrica per un tempo brevissimo (corrente di spostamento) che non poteva fluire, perchè ostacolata della reazione del mezzo dielettrico.

Applicando invece una f. e. m. alternativa, si ottiene una deformazione periodica del mezzo in direzioni opposte, e quindi un vero e proprio movimento di elettricità.

Infatti quando la f. e. m. va crescendo in una determinata direzione, il mezzo dielettrico del condensatore tende alla sua massima deformazione, analogamente a quanto farebbe per una corrente continua impressa. Ma mentre per questa il punto di massimo rappresenta l'equilibrio e quindi la fine del movimento di elettricità, non succede così nel secondo caso, poichè ad esso subentra subito una rapida diminuzione della corrente, che tende ad annullarsi. Il mezzo ha allora tempo di ritornare in condizioni normali o, come comunemente si dice, il condensatore *si scarica*. Ma allora la f. e. m. alternativa risorge, tendendo ad un massimo in senso opposto, per annullarsi poi di nuovo e così via.

Il condensatore a sua volta si carica e scarica periodicamente e il circuito è percorso da una corrente alternativa.

Si può creare facilmente un modello meccanico del fenomeno, supponendo un serbatoio *S* (fig. 27) diviso in due parti eguali dalla membrana elastica *M*. Supposto il pistone *P* in movimento, il fluido del serbatoio è sollecitato ora in un senso ora nell'altro, quindi la sua corrente attraverso il circuito dei tubi, riesce alternata, mentre la membrana *M* si deforma ora in un senso ora nell'altro, *cercando sempre di opporsi al movimento della corrente.*

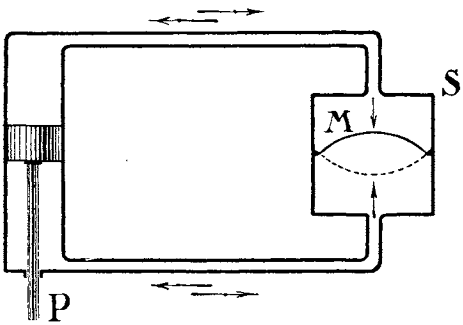


Fig. 27.

Essa rappresenta, nel nostro modello meccanico, il dielettrico del condensatore e dimostra la possibilità di movimento della corrente alternata anche quando il circuito è praticamente interrotto.

Se si sostituisce al pistone *P*, una pompa centrifuga o un serbatoio di aria compressa, la membrana *M* è sollecitata a deformarsi in una sola direzione, finchè la sua reazione è sufficiente a controbilanciare la pressione del fluido e a questo punto nessuna corrente può più passare.

L'esempio rappresenta con molta analogia l'applicazione di una f. e. m. continua al nostro condensatore (fig. 28).

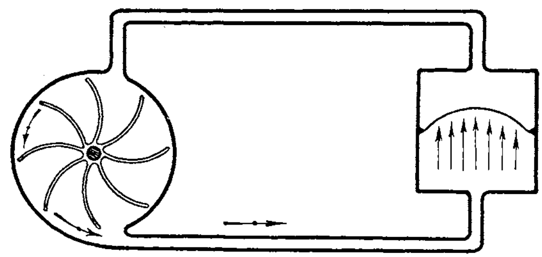


Fig. 28.

Il valore di una grandezza alternativa varia istante per istante, quindi per ottenerne la misura *effettiva* occorre fare la media dei singoli valori. Abbiamo già veduto come possa servire l'uso della legge di Joule, poichè la produzione media di calore è proporzionale al quadrato della corrente che attraversa il circuito.

Così si sono costruiti istrumenti che danno indicazioni proporzionali al calore medio svolto dalla corrente, denominati *termici*, appunto per questo.

Per correnti perfettamente sinusoidali, si trova che l'effetto termico, è equivalente a *sette decimi* circa di quello ottenibile con correnti continue della stessa grandezza. In altre parole una corrente continua di

100 unità produce lo stesso calore di una corrente alternata sinusoidale di 141 unità.

Ma altri importanti fattori influiscono sulle grandezze alternative riducendone, nel maggior numero dei casi, i loro valori efficaci.

Supponiamo infatti di imprimere una f. e. m. alternativa in un circuito contenente soltanto resistenza *pura*. Si nota allora, che la corrente e la f. e. m. hanno la stessa fase e sono simili nella forma.

Si dice che due grandezze alternative sono *in fase*, quando passano simultaneamente per gli stessi valori, o ancor meglio, quando si annullano contemporaneamente (fig. 29).

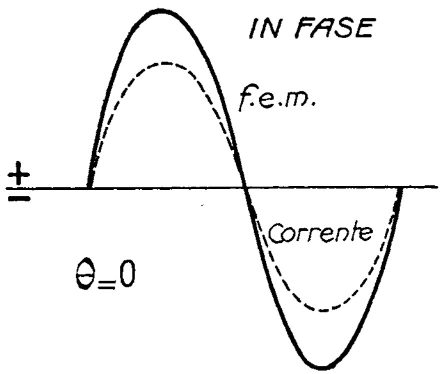


Fig. 29.

Ma è ben raro in pratica un circuito che non possieda *induttanza*. Ci è già noto, che ogni qual volta si imprime una f. e. m. in un circuito contenente induttanza e resistenza (fig. 30) la corrente che fluisce in questo non raggiunge *istantaneamente* il suo valore normale, ma ciò succede dopo un certo intervallo di tempo, poichè una f. e. m. indotta ne ostacola il passaggio.

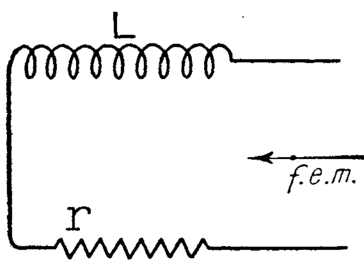


Fig. 30.

Durante i successivi istanti di questo breve intervallo, la f. e. m. che sollecita la corrente, è data dalla risultante fra la f. e. m. impressa e quella contraria o indotta.

Ora, se si applica una f. e. m. alternativa in un circuito di questo genere, le condizioni sono costantemente equivalenti a quelle del primo breve intervallo nel circuito a corrente continua, poichè essendo la f. e. m. continuamente variata, esiste pure continuamente una f. e. m. indotta, per ostacolare la variazione della corrente.

La f. e. m. *efficace* ed agente è quindi data ancora dalla risultante delle due f. e. m.

La corrente, ostacolata all' inizio, non riesce mai a raggiungere il valore corrispondente alla f. e. m. agente (come nel caso del circuito a resistenza pura). Ora poichè la forma delle varie grandezze si mantiene invariata, essa corrente può rappresentarsi con una curva sinusoidale

spostata da un lato rispetto a quella della f. e. m. (fig. 31), cioè *ritardata* di una certa frazione di periodo o come suol dirsi di un certo *angolo di fase.*

Il valore di questo angolo di fase dipende essenzialmente dalla grandezza della frequenza, dell' induttanza e della resistenza, e il suo effetto è di diminuire l'ampiezza effettiva della corrente, o in altri termini di introdurre in circuito una *resistenza apparente*, che si aggiunge a quella naturale o ohmica, tanto maggiore, quanto più questo angolo si avvicina a 90°, caso limite nel quale l' intensità sarebbe ridotta a zero e l' induttanza raggiungerebbe valori infiniti (1).

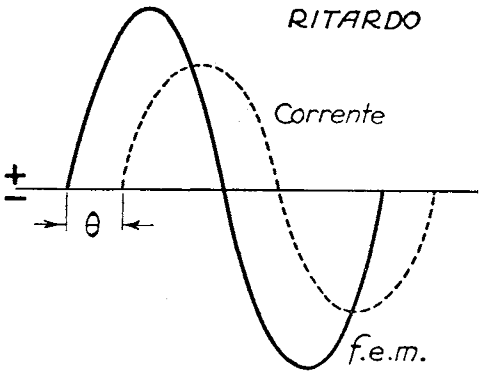


Fig. 31.

Questa resistenza apparente è stata chiamata *reattanza.*

Essa si aggiunge naturalmente alla resistenza pura del circuito, formando con essa una resistenza totale, detta *impedenza* (2).

La *potenza* dissipata in un circuito percorso da una corrente alternata, è ad ogni istante equivalente al prodotto della f. e. m. per la relativa corrente (istantanea), e la media di un numero grandissimo di questi prodotti parziali, presi durante un periodo completo, ci dà il valore medio di questa potenza.

Senza entrare in merito al calcolo relativo, possiamo stabilire che questo ci dimostra, come la potenza media è equivalente al prodotto della f. e. m. e della corrente, per il *coseno* dell'angolo di fase.

Questo coseno è chiamato il *fattore di potenza* del circuito.

Infatti, poichè il suo valore varia fra l' unità e lo zero, al variare dell'angolo di fase fra zero e 90°, esso può determinare variazioni della potenza efficace comprese fra il massimo e lo zero.

Nella pratica industriale, il valore del fattore di potenza ($\cos \varphi$) è

(1) Infatti il periodo o ciclo completo equivale ad uno spostamento di 360°. Così fra annullamenti successivi esiste un angolo di fase di 180°, fra un massimo e lo zero di 90°, ecc.

(2) L' impedenza può assumersi per la legge di Ohm equivalente al rapporto fra f. e. m. e corrente *efficaci* del circuito.

compreso fra 0,7 e l' unità, mentre nelle applicazioni radio-elettriche esso può scendere a valori estremamente piccoli (0,001) ([1]).

Abbiamo più volte avuto occasione di notare, come si comporta un condensatore, quando sulle sue armature viene impressa una certa f. e. m. Sappiamo che queste sono sufficientemente isolate fra loro, per impedire il passaggio di elettroni anche in piccola quantità, ma che tuttavia, se la f. e. m. è alternata, esiste una corrente nel circuito.

Le armature infatti tendono sempre ad assorbire sufficienti cariche elettriche, per mantenere il loro potenziale equivalente alla f. e. m. impressa. Ora, poichè questa è continuamente variabile, alla stessa guisa varia la richiesta di elettroni da parte del condensatore. Esso ne « richiama » quando il suo potenziale è inferiore alla f. e. m., e ne « fornisce » addirittura al circuito esterno nel caso contrario (carica e scarica). Questo movimento alternativo di elettroni costituisce appunto la corrente alternata.

Ora ci si può accorgere subito, che il comportamento del condensatore è esattamente opposto a quello dell' induttanza: infatti, la reattanza di quest' ultima, va gradualmente aumentando col crescere della frequenza, mentre nel nostro caso succede il contrario, poichè il numero delle cariche e scariche risultando in aumento, alla stessa guisa aumenta la quantità di elettricità in movimento, e quindi la resistenza apparente (reattanza) risulta minore.

Così per esempio una corrente alternata di frequenza molto bassa può facilmente attraversare un induttanza, anche se il valore di questa è molto elevato, mentre ben difficilmente potrebbe passare attraverso ad una capacità.

Si è trovato infine che l' angolo di fase fra f. e. m. applicata e corrente, segue la stessa discordanza, cioè la f. e. m. risulta in ritardo sulla corrente, o come generalmente si dice la corrente *anticipa* sulla f. e. m. (fig. 32).

Lo spostamento della corrente rispetto alle f. e. m., determina anche in questo caso una riduzione dei valori efficaci di queste, o in altri termini una variazione della resistenza apparente del circuito. Questa resistenza apparente viene detta spesso *capacitanza* per distinguerla dall' analoga reattanza.

([1]) Queste proprietà valgono quando tutte le grandezze alternative sono perfettamente sinusoidali; ma quando la loro forma è differente, il caso si presenta molto più complesso. Così per esempio nei circuiti induttivi contenenti ferro, il valore dell' induttanza non è più costante, ma varia per ogni istante del periodo e quindi per esprimere il valore della corrente occorrerebbe una equazione con un numero infinito di termini.

La sua grandezza è inversamente proporzionale alla frequenza e al valore della capacità, mentre per la reattanza si aveva diretta dipendenza della frequenza dalla induttanza.

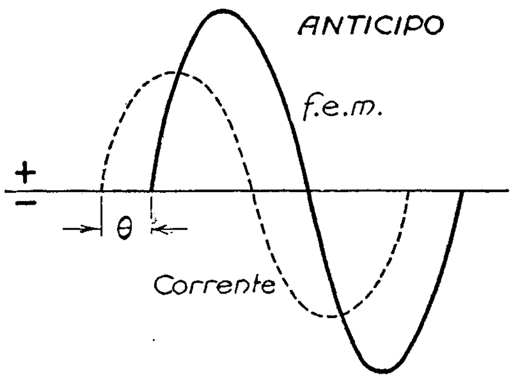


Fig. 32.

Risonanza. — Appare ora evidente che queste due grandezze tendono ad annullarsi a vicenda. Supponiamo infatti di avere un circuito contenente induttanza, capacità e resistenza (fig. 33).

L'induttanza determina un certo ritardo della corrente sulla f. e. m. (fig. 34 *A*) ma è sempre possibile regolare il valore della capacità in modo, da determinare un anticipo, uguale in valore assoluto al ritardo (fig. 34 *B*).

La differenza di fase è allora nulla, cioè la f. e. m. e la corrente sono in fase e il circuito è attraversato da un intensità massima, *proporzionale soltanto alla sua resistenza ohmica o pura.*

Quando si verificano queste condizioni si dice che il circuito è in *risonanza* con la frequenza impressa.

La stessa cosa può ottenersi dato un circuito qualunque, variando la frequenza.

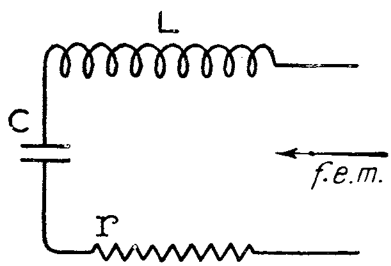


Fig. 33.

La frequenza, per la quale la differenza di fase fra f. e. m. e corrente è nulla, dicesi appunto *frequenza di risonanza.*

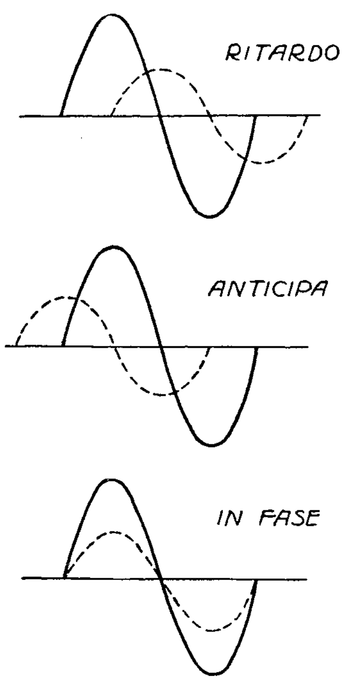


Fig. 34

Supponiamo una massa M, appesa ad una molla (fig. 35). Se si applica ad M una forza, questa viene contrariata, dalla *reazione* della molla, dall'*inerzia* della massa e dall'*attrito* prodotto dal movimento nel mezzo.

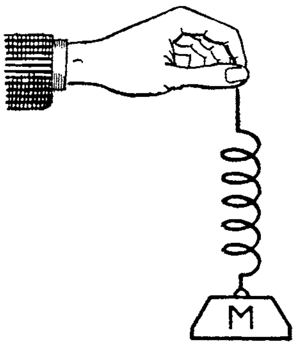


Fig. 35.

Questi tre fattori, possono con molta analogia paragonarsi alla capacità, induttanza e resistenza elettriche.

Se si suppone di applicare alla massa M una forza determinata, (per esempio alzando ed abbassando la mano), si trova che esiste una certa frequenza per la quale l'oscillazione dell'insieme è massima.

Infatti a questo punto (risonanza) l'elasticità della molla, e l'inerzia della massa, esercitano fra di loro due forze uguali e contrarie, che si annullano a vicenda, quindi tutta la forza disponibile viene impiegata soltanto a vincere la resistenza (attrito) del mezzo.

Le reazioni opposte della molla e della massa, possono essere di grandissimo valore, senza che tuttavia la forza che mantiene l'oscillazione massima, debba eccedere quella necessaria a vincere l'attrito. Infatti se questa avesse un intensità anche leggermente maggiore, l'oscillazione andrebbe via via aumentando di ampiezza, fino a raggiungere valori così alti da determinare la rottura della molla, mentre in condizioni normali sarebbe stata necessaria una forza molto più grande.

Lo stesso effetto potrebbe ottenersi diminuendo l'attrito del mezzo e lasciando invariata la forza.

Contrariamente, se si aumentasse l'attrito, mantenendo la stessa forza applicata, si noterebbe che l'oscillazione massima, diminuisce di ampiezza.

Questo modello meccanico ci insegna principalmente, che allo stato di risonanza possono aversi in giuoco forze molto più intense di quelle applicate, e che per una determinata forza agente, l'ampiezza raggiunta dall'oscillazione, dipende esclusivamente dalla resistenza o attrito del mezzo.

Ritornando al nostro caso elettrico, possiamo analogamente ripetere che al punto di risonanza possono aversi in gioco f. e. m. molto più elevate di quelle applicate, e che per una determinata f. e. m. agente, l'ampiezza della corrente e della f. e. m., dipende esclusivamente dalla resistenza ohmica del circuito.

Il primo caso è molto noto in pratica, poichè quando si usano f. e. m. elevate, l'aumento di tensione è spesso sufficiente a perforare i migliori isolamenti.

L'ordine di grandezza di questo aumento è variabile, e dipende da molte condizioni; così mentre negli impianti industriali a frequenza bassa, si può avere un aumento di qualche decina di volte, negli impianti radio-elettrici si può raggiungere qualche centinaio.

Questo aumento è tanto maggiore quanto minore è la resistenza del circuito, includendo nell'entità resistenza anche le varie *perdite* (v. pag. 19).

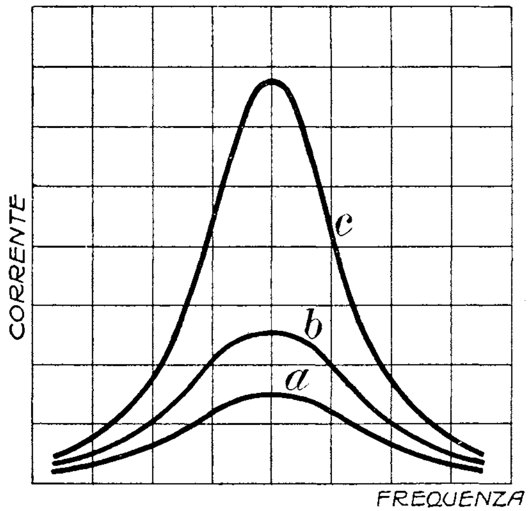


Fig. 36.

Così agli estremi di un condensatore, si ottiene una f. e. m. tanto maggiore, quanto più perfetta è la sua costruzione e quindi quanto minori le sue perdite.

Si può esprimere graficamente l'andamento del fenomeno di risonanza, riportando su due assi ortogonali i valori rispettivi della frequenza e della corrente. Si ottiene così una curva tanto più acuta, quanto minore è la resistenza del circuito (fig. 36 *a*, *b*, c.).

Grafici analoghi si possono ottenere, mantenendo invariata la frequenza e variando la capacità o l'induttanza.

Il procedimento prende il nome di *accordo* o *sintonizzazione*.

Tanto più acuta risulta la curva di risonanza, tanto migliore si dice, l'*acutezza di sintonia*.

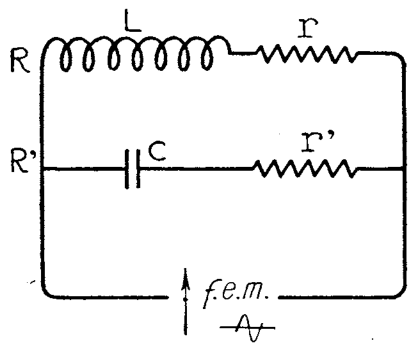


Fig. 37.

L'acutezza di sintonia serve particolarmente per raggiungere l'accordo perfetto con la frequenza in esame, per potere poi, conoscendo i valori dell'induttanza e della capacità, dedurre i valori di quella. Essa rappresenta uno dei fattori più importanti nelle applicazioni radio-elettriche.

Un caso particolare ed interessante di risonanza si verifica allorchè anzichè in serie, si inseriscono induttanza e capacità in parallelo (fig. 37).

La f. e. m. alternativa impressa, determina nei due rami R ed R' due correnti. Sappiamo che quella di r è in ritardo sulla f. e. m., mentre quella di r', anticipa. Aggiustando i valori di C e di L, raggiungiamo il punto di risonanza; quando cioè, i due spostamenti si annullano a vicenda. In questo caso anche le due correnti si elidono, quindi non vi è alcun movimento di elettricità nel circuito.

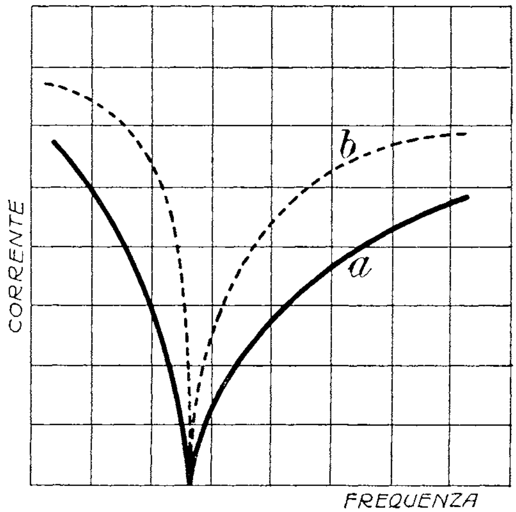


Fig. 38.

La combinazione di un' induttanza e di un condensatore in parallelo *e in risonanza con la f. e. m. impressa* equivale allora a quella di una induttanza di valore grandissimo.

Tanto aumentando che diminuendo l' induttanza, o la capacità, si nota che la corrente da infinitamente piccola, *aumenta di valore,* quindi possiamo parlare ancora di acutezza di sintonia, ma riferendoci a caratteristiche opposte a quelle del caso precedente.

Questa proprietà si può rappresentare graficamente con la curva della fig. 38, dalla quale si può facilmente rilevare, che la corrente viene in questo caso ridotta, analogamente a quanto veniva da prima aumentata.

Ambedue i sistemi sono largamente usati in pratica quindi ci sarà dato spesso di ritornare sull' argomento per farcene un migliore concetto.

CAPITOLO II.

LE OSCILLAZIONI ELETTRICHE

Moto vibratorio. — È a conoscenza di tutti che ogni sistema di comunicazione radio-elettrica si basa sull' impiego di particolari *onde*, che si propagano nello spazio a grandissima velocità e che sono state chiamate *onde elettromagnetiche*.

Spesso si usa paragonare il fenomeno a quello ben noto della propagazione di onde in un liquido o di onde *sonore*: ma sebbene il paragone possa avere qualche punto di contatto, esso è inadatto e spesso anche incapace, a rendercene la complessa essenza.

Questa è, d' altra parte, ancora molto discussa, specialmente negli ultimi anni, ed attende esperienze decisive che la comprovino o la infirmino.

Senza entrare in argomento, cercheremo di esaminare brevemente e in forma elementare, lo stato delle nostre cognizioni presenti e passate.

Un movimento variabile periodicamente, si dice *vibratorio*. Se le particolari condizioni di questo movimento, si ripetono ad uguali intervalli di tempo, si dice che questo è *armonico*.

Sappiamo che una corrente alternata, ha una variazione rispondente a leggi ben determinate. Il movimento elettronico in un conduttore soggetto ad una f. e. m. alternativa sinusoidale, può quindi dirsi vibratorio armonico; così come un pendolo in oscillazione, una corda vibrante, una campana percossa, ce ne rappresentano esempi più comuni.

Un moto vibratorio armonico si rappresenta graficamente con una curva (sinusoide), dove il valore massimo raggiunto, si dice *ampiezza* del moto.

In pratica accade quasi sempre che l' ampiezza diminuisce col tempo: così il nostro pendolo cessa di oscillare, la corda ridiventa immobile, ecc., poichè esistono delle *reazioni* che si oppongono al movimento e che spengono o smorzano le oscillazioni.

Si dice allora che queste sono *smorzate* e il fenomeno prende il nome di *smorzamento*.

Supposto un moto perfettamente armonico è possibile rappresentare lo smorzamento con una sinusoide di ampiezza decrescente (fig. 39).

Si trova matematicamente ed esperimentalmente, che le ampiezze successive decrescono secondo una legge ben determinata (logaritmica) e più precisamente che *il rapporto fra un massimo qualunque e quello successivo è costante.* Il valore di questa costante ci da in certo qual

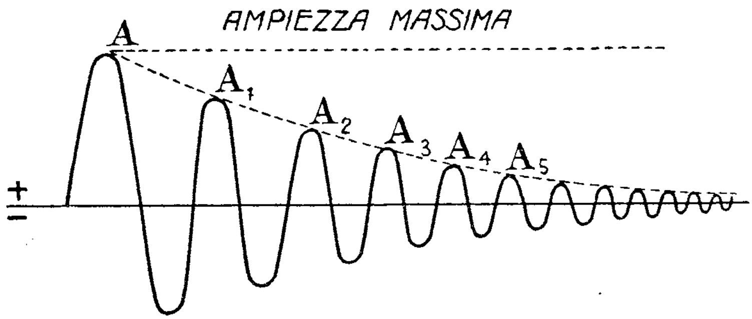


Fig. 39.

modo il grado di smorzamento, per ogni determinato moto vibratorio. Esso prende il nome di *decremento* delle oscillazioni.

Quando il decremento è nullo, cioè quando le ampiezze successive sono uguali, il particolare moto vibratorio si dice *persistente.*

Esso è possibile in pratica, quando si fornisca periodicamente energia bastevole a compensare quella spesa a vincere le forze che si oppongono al moto. Così il movimento del pendolo di un orologio o della corda di un violino, può dirsi persistente, poichè lo smorzamento è compensato dall'energia somministrata dal motore dell'orologio o dell'arco del violino. Il movimento vibratorio della corrente alternata cui abbiamo accennato, è persistente finchè esiste una f. e. m. capace di mantenerlo, ma si smorza, non appena questa viene a mancare.

Il predominare dei fattori che si oppongono al moto, come per esempio dell'attrito, delle perdite, della resistenza meccanica ed elettrica aumentano la rapidità dello smorzamento o, in altri termini, esaltano il decremento delle oscillazioni.

Quanto abbiamo detto nei riguardi delle correnti alternate, sui fattori: *frequenza, periodo, fase,* ecc. vale per qualsiasi moto vibratorio armonico potessimo immaginare.

I nostri sensi e gli istrumenti a nostra disposizione, ci permettono di rivelare moti vibratori in un vastissimo campo di frequenze: così per

esempio dai moti di gruppi molecolari rivelati dal nostro orecchio (*suoni*: frequenza qualche migliaio di periodi) possiamo arrivare ai moti vibratori atomici che il nostro occhio e il nostro tatto rivelano (*calore, luce*, ecc.: miliardi e bilioni di periodi).

Le distinzioni che noi facciamo fra i vari moti vibratorii, basate sulle sensazioni che essi determinano in noi, sono quindi essenzialmente soggettive. D'altra parte è lecito pensare che esistano altri moti vibratori particolari che sfuggono all'analisi dei nostri sensi e a quella dei nostri istrumenti.

Propagazione del moto vibratorio. — Un moto vibratorio a frequenza sonora produce una sensazione nei nostri organi uditivi anche se la distanza fra noi e il luogo del moto è notevole. Esso quindi si propaga nel *mezzo* interposto (aria). Infatti un movimento vibratorio qualunque, si comunica alle particelle che costituiscono il mezzo (solido, liquido, gassoso o ipotetico) e determina delle *vibrazioni* che si propagano a distanza a cagione della elasticità del mezzo stesso.

Senza ricorrere ad esempi elementari e ben noti di propagazione, vogliamo ora esaminare le caratteristiche di questa.

Supponiamo di avere un mezzo nel quale la propagazione del moto possa avvenire in una sola direzione (per es. una lunga verga metallica, fig. 40) e percuotiamo questa in A nel senso delle freccie. Le particelle materiali immediatamente vicine ad A, vengono compresse per la percossa, ma si espandono di nuovo quando l'azione di questa viene a mancare, esercitando una pressione sulle particelle vicine, che pure si espandono comunicando la loro energia ad altre particelle e così via finchè tutta la distanza AB non è stata percossa. Possiamo quindi raffigurarci delle zone di compressione e delle zone di rarefazione distribuite lungo la nostra verga metallica. Si dice infatti che esistono *onde condensate* ed *onde rarefatte* rispettivamente in quei punti.

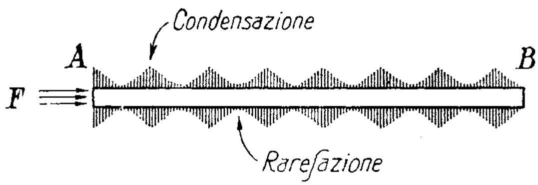


Fig. 40.

Una propagazione di questo genere si verifica evidentemente a mezzo di onde *longitudinali*.

Supponiamo ora di percuotere la nostra verga sempre in A ma nella

direzione indicata dalla freccia della fig. 41. Le particelle prossime ad A, sono spostate dalla loro posizione di equilibrio nel senso della freccia e una volta cessata l'azione della percossa esse, tendendo alla posizione primitiva, cedono la loro energia ad altre particelle che si spostano in senso opposto, per comunicare alla loro volta un movimento analogo alle particelle vicine, ecc. Questo modo particolare di trasmissione del moto, si dice a mezzo di *onde trasversali* e può rappresentarsi efficacemente con una sinusoide (1).

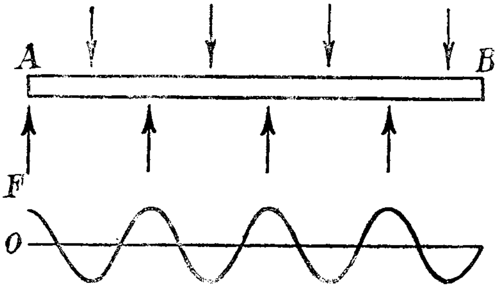


Fig. 41.

Si è notato in pratica, e il calcolo dimostra, che la natura della vibrazione o onda, dipende dalle peculiari qualità del mezzo elastico che la propaga, e più precisamente che i corpi *allo stato solido* sono capaci di propagare vibrazioni trasversali e longitudinali, mentre *allo stato fluido* (liquidi e gas), possono propagare soltanto le seconde (2).

Le vibrazioni che ci interessano (radio-elettriche) sono trasversali, hanno una frequenza elevata e si propagano in un mezzo ipotetico cui abbiamo già accennato ricordandone le contradizioni (pag. 8). Infatti se pur le nostre più delicate ricerche, non hanno ancora permesso di scoprire la più piccola traccia di questo tenuissimo ed immateriale *etere*, le frequenze di vibrazione così elevate che esso può propagare, stanno a provare in lui qualità eccezionali di solido perfetto.

Noi supporremo da prima una vera e propria perturbazione meccanica del mezzo etere, che ci permetterà di raggiungere più facilmente il concetto della propagazione *elettromagnetica*, per quel tanto che la nostra forma elementare ce lo possa consentire.

Propagazione nello spazio. — Abbiamo da prima stabilito di considerare vibrazioni propagantisi in una sola direzione. Ma il concetto si allarga e si complica alquanto, supponendo una propagazione in tutte le direzioni e quindi nello *spazio*.

(1) Il meccanismo della propagazione è tuttavia molto più complesso di quanto non possa fare intravvedere l'elementare esposizione.

(2) In pratica i liquidi propagano facilmente anche onde trasversali (ad esempio quelle generate da un sassolino che cade in uno stagno). Ciò è tuttavia dovuto alla forza di gravità che modifica le caratteristiche di fluido del liquido stesso.

La propagazione con onde *longitudinali* è ancora abbastanza semplice: possiamo infatti supporre attorno alla sorgente di vibrazioni strati alternati di condensazione e rarefazione del mezzo, che per ragioni di simmetria, si dispongono secondo superfici sferiche e concentriche [1]. Così supposta una sorgente sonora S isolata nello spazio (fig. 42) trove-

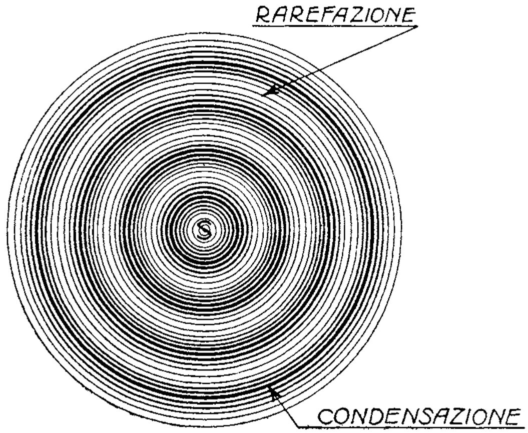


Fig. 42.

remo, concentricamente all'intorno, strati alternati di aria condensata e rarefatta, che propagano il moto a distanza.

Ognuno di questi strati costituisce la cosidetta *superficie d'onda* definita come il luogo geometrico raggiunto dalle vibrazioni, dopo un certo tempo dalla partenza da S. Essa rappresenta naturalmente una convenzione allo scopo di rendere più evidente il meccanismo della propagazione.

Allo stesso scopo, e specialmente per spiegare il comportamento delle onde trasversali, si è stabilito (Huygens) che ogni punto dello spazio raggiunto dalle vibrazioni, divenga a sua volta centro o sorgente di nuove oscillazioni. Così, supposta ancora una sorgente vibratoria S puntiforme, le oscillazioni di questa determinerebbero nelle sue immediate vicinanze, un numero grandissimo di nuove sorgenti, le oscillazioni delle quali ne produrrebbero ancora di nuove e così via moltiplicandosi all'infinito. Se si considerano soltanto i punti disposti su superfici

(1) Supponendo un mezzo capace di propagare vibrazioni con uguale velocità in ogni direzione e come comunemente si dice un mezzo *isotropo*.

d'onda (fig. 43) abbiamo che ogni nuova superficie è costituita dall'insieme (inviluppo) di tutte le superfici generate dai singoli punti (¹).

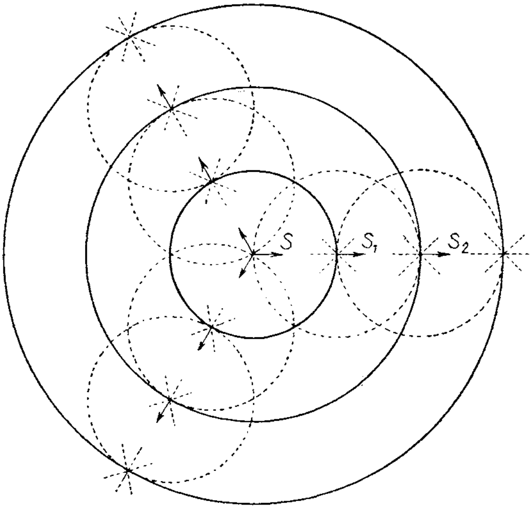


Fig. 43.

I nuovi punti generatori, producono naturalmente delle vibrazioni che si propagano in ogni senso e quindi anche contrariamente alla propagazione.

Mano mano che l'onda procede, le vibrazioni contrarie si elidono con quelle generate da punti più prossimi alla sorgente (e quindi in direzione contraria) per un fenomeno che ora esamineremo e che prende il nome di *interferenza*.

Supponendo una sorgente principale molto di-

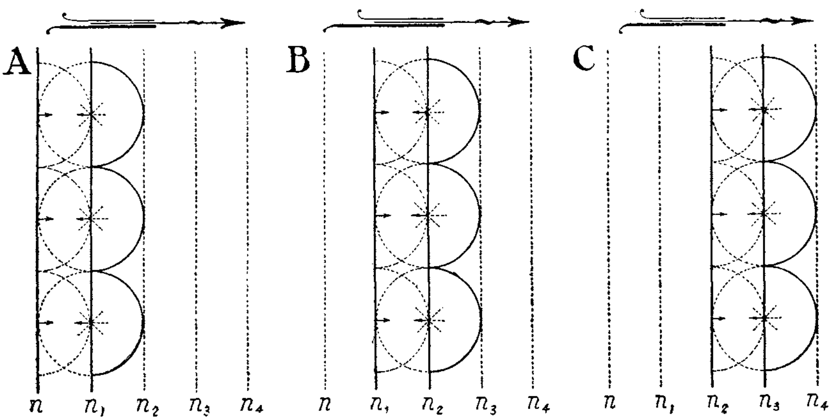


Fig. 44.

stante possiamo illustrare il fenomeno con la fig. 44 che mostra alcune fasi della generazione di successive superfici d'onda.

In A le vibrazioni di n determinano in n_1, nuove sorgenti.

(¹) La figura suppone che ogni nuova superfice produca soltanto *tre* nuove sorgenti.

In B le vibrazioni di n_1, dirette verso n si elidono con quelle provenienti da n, mentre le altre determinano in n_2 nuove sorgenti.

In C si ha ancora annullamento nel senso n_2 n_1, e produzione di nuove sorgenti in n_3 e così di seguito durante tutta la propagazione.

È facile comprendere che se la sorgente S vibra continuamente (genera cioè oscillazioni persistenti), il fenomeno si riproduce continuamente per ogni punto, seguendo il ritmo della frequenza di vibrazione (1).

Qualunque sia il tipo di vibrazione e comunque la si consideri, essa richiede un tempo materiale per propagarsi da un punto all'altro.

Essa cioè possiede una certa e finita *velocità*. Si è trovato che questa velocità non dipende affatto dalla frequenza di vibrazione, ma soltanto dalla natura del mezzo nel quale avviene la propagazione, e principalmente dalla densità e dalla elasticità di questo (2).

Sappiamo che la perturbazione del mezzo segue fedelmente le variazioni vibratorie della sorgente; passa cioè per massimi e minimi di intensità analogamente a quella. Ad ogni periodo corrisponde un determinato cammino percorso dalla perturbazione e poichè ad intervalli di un periodo il ciclo vibratorio si ripete, anche la perturbazione del mezzo ripassa con ritmo analogo per gli stessi valori.

La distanza che separa due successivi analoghi valori della perturbazione, dicesi *lunghezza d'onda* (λ). Se si conosce la velocità di propagazione nel mezzo e la frequenza della vibrazione, si ottiene facilmente la lunghezza d'onda facendo il rapporto fra queste due grandezze (3).

Lunghezza d'onda e frequenza sono quindi due grandezze inversamente proporzionali.

Le onde radioelettriche che ci interessano rappresentano un caso di propagazione nel mezzo *etere* o più precisamente possono considerarsi come le vibrazioni a frequenza più bassa che questo mezzo può propagare.

Infatti ad esse seguono, coll'aumentare della frequenza, (lunghezza

(1) In questo modello elementare si sono considerati soltanto i punti dello spazio che si trovano su superfici d'onda come centri secondari di vibrazione, mentre il fenomeno è pensato verificarsi per *tutti* i punti dello spazio raggiunti da vibrazioni.

(2) Per uno stesso mezzo accade alle volte che la velocità sia differente nelle varie direzioni. In questo caso il corpo costituente il mezzo viene detto *anisotropo*. Caratteristiche anisotrope molto spiccate sono possedute da alcuni *cristalli*.

(3) Conosciuta per esempio una frequenza di vibrazione di 3000 periodi determinata da una sorgente sonora, e sapendo che la velocità di propagazione nell'aria è di circa 300 metri al secondo, la lunghezza dell'onda propagata è $300 : 3000 = 0,1$ metri.

d'onda sempre più corta) le cosidette onde ultrarosse, luminose, ultraviolette, dei raggi X, ultra X e di alcune radiazioni del radio rispettivamente come si può notare dalla tabella seguente:

FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA	GENERALITÀ DELL'ONDULAZIONE
10.000	30 000 m.	
1.500 000	200 »	Onde hertziane: *"lunghe"*
30.000 000	10 »	*"corte"*
150.000.000	2 »	*"cortissime"*
300.000.000	1 »	*"ultra corte"*
1.500.000.000 000	0.0002 »	
15×10^{11} ca.	0.2 mm.	**Onde calorifiche o ultrarosse**
4×10^{14}	0 00076 »	
4×10^{14}	0,00076 mm.	**Onde luminose**
$7 8 \times 10^{14}$	0.00038 »	
7.8×10^{14}	0 00038 mm.	**Onde ultraviolette**
2×10^{15}	0.000014 »	
2×10^{15}	0 000014	
3×10^{17}	0.000001	**Raggi X**: *"molli"*
15×10^{18}	0 00000002	*"ordinari"*
6×10^{19}	0.000000005	*"ultra X e del radio"*
?	?	

Di questa gamma di frequenze così estesa i nostri sensi non rivelano che le ristrette zone dalla luce e del calore. Con l'aiuto di speciali *rivelatori* essa è stata esplorata con continuità, ma l'indagine è resa difficile dall'imperfezione dei nostri istrumenti e dei nostri metodi.

La gamma hertziana è forse fra tutte quella più facilmente indagabile almeno per le lunghezze d'onda superiori al metro.

Il potere con perfezione di mezzi simile e superiore a quella della

moderna radio-tecnica, studiare le caratteristiche di onde ancor più corte (da qualche decimetro a frazioni infine di m/m) è certamente compito sicuro di un prossimo avvenire.

Particolarità della propagazione vibratoria. — INTERFERENZA. Quando due perturbazioni vibratorie hanno la stessa frequenza, lo stesso valore e sono dirette in senso opposto, esse possono, interferendo fra loro, produrre l'annullamento del moto vibratorio.

Questo fenomeno prende appunto il nome di *interferenza.* Perchè due vibrazioni siano « opposte » o come si dice comunemente siano *in opposizione*, occorre che fra loro esista un ritardo di mezzo periodo o, riferendoci alla propagazione, una differenza di mezza lunghezza d'onda.

Un esempio molto comune di interferenza è dato dalla formazione delle cosidette *onde stazionarie* che si notano quando due movimenti vibratori identici, ma diretti in senso contrario si incontrano su uno stesso raggio di propagazione. Allora gli effetti reciproci dei due moti, si sovrappongono o sommano e la perturbazione del mezzo non può propagarsi, perchè sollecitata ugualmente in un senso o nell'altro. Quindi le particelle del mezzo vibrano con ampiezza costante per ogni punto. Questa ampiezza varia fra un massimo determinato e o zero con un andamento analogo a quello della fig. 45, nella quale risultano sovraposte le due sinusoidi che rappresentano i due movimenti.

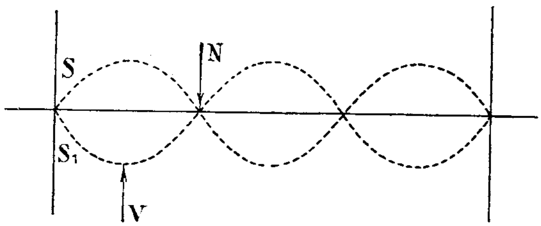


Fig. 45.

I punti di ampiezza massima si dicono *ventri* e quelli dove l'ampiezza è nulla o minima, *nodi* [1].

Spesso può accadere che l' interferenza di due moti vibratori non produca l'annullamento della propagazione, ma bensì ne modifichi l'andamento.

I due moti allora si compensano e danno origine ad un movimento risultante.

Ciò si verifica specialmente quando l'angolo secondo il quale si

[1] Ad esempio si possono ricordare le onde stazionarie che si eccitano in una corda vibrante quando essa è fermata con un estremo ad un sostegno fisso. Infatti l'oscillazione non appena raggiunge quest'ultimo, non potendo proseguire, ritorna sullo stesso cammino, determinando due sistemi di oscillazioni diretti in senso opposto che si sovrappongono.

sovrappongono le due vibrazioni non è piccolo e quando la frequenza di essi non è perfettamente uguale.

Ambedue questi fatti si verificano nella pratica radio-elettrica e in modo particolare il secondo, che è utilizzato per produrre i cosidetti *battimenti.*

Infatti se si fanno interferire due moti vibratori simili, ma di frequenza diversa, il sistema di vibrazioni risultante non è più stazionario, ma si muove più o meno rapidamente a seconda del valore della differenza delle due frequenze.

Possiamo avere un' idea più esatta del fenomeno riferendoci al sistema di ventri e nodi della fig. 45.

Se le frequenze di S ed S' sono differenti, le rispettive fasi non rimangono più concordi come nel caso delle onde stazionarie, ma variano ciclicamente, a seconda del valore della differenza delle due frequenze e le rispettive ampiezze, seguendo un ciclo analogo, sono volta a volta concordi e discordi.

Si comprende facilmente come il valore di questo ciclo sia dato della differenza delle due frequenze di S ed S' (1).

Questa differenza prende il nome di *frequenza dei battimenti,* poichè sono appunto i battimenti o coincidenze dei due moti, che la determinano. Questa proprietà ha ricevuto interessanti applicazioni ed è stata utilizzata in ogni campo della fisica esperimentale (vedi cap. 3°).

DIFFRAZIONE. Ammesso il principio di Huyghens secondo il quale ogni punto colpito da vibrazioni diventa a sua volta sorgente, la propagazione lungo un raggio da noi più volte citata, non dovrebbe mai verificarsi: d' altra parte tutti sanno che il suono, la luce, ecc., si propagano appunto lungo un raggio, cioè *in linea retta.*

Infatti noi vediamo un punto luminoso molto lontano come punto, e non già come una miriade infinita di punti. Perchè ciò si verifichi, la propagazione non può aver luogo che lungo una retta PO (fig. 46), quindi il principio delle sorgenti multiple verrebbe così ad essere infirmato.

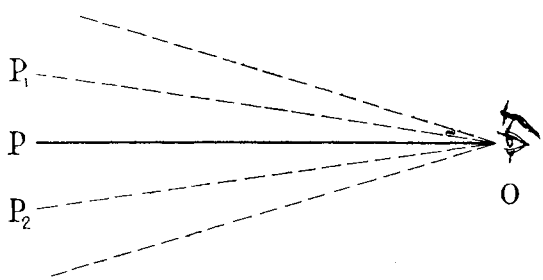


Fig. 46.

(1) Così, supposte le frequenze di S ed S'' equivalenti a 200 e 250 periodi il moto risultante avrebbe una frequenza di 50 periodi.

Ma il calcolo e l'esperienza hanno provato, conciliando fra loro due concetti così discordanti, che il punto P determina bensì una miriade di nuove sorgenti, ma che le oscillazioni di queste, *interferendo* fra loro, si annullano a vicenda, rendendo effettiva soltanto la propagazione lungo il raggio PO. Questo stato di cose può venire modificato interponendo sul cammino delle oscillazioni un ostacolo (schermo) che non possa venire attraversato. In determinate condizioni si nota che in O (fig. 47) continuano a giungere le oscillazioni di P. Esse dunque *girano* l'ostacolo.

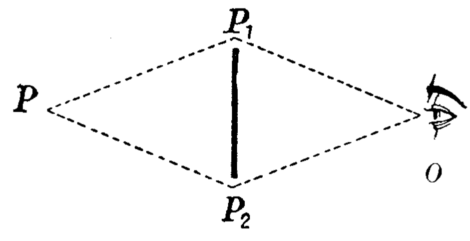


Fig. 47.

Il fenomeno, sul quale non possiamo trattenerci, si spiega facilmente col principio di Huyghens (supponendo nuove sorgenti in $P_1 P_2 P_3$, ecc., e prende il nome di *diffrazione.*

Esso è tanto più facilmente rivelabile coi nostri mezzi usuali, quanto più l'ordine di grandezza della λ della perturbazione è prossimo all'ordine di grandezza di questi.

Così noi *udiamo* un suono, anche se fra la sorgente e il nostro orecchio è interposto un ostacolo relativamente esteso, perchè l'ordine di grandezza delle onde sonore (metri e centimetri) è paragonabile a quello dell'ostacolo stesso. Noi non vedremmo però certamente una sorgente luminosa situata al posto di quella sonora, poichè l'ordine di grandezza delle onde luminose non è assolutamente paragonabile a quello dello schermo.

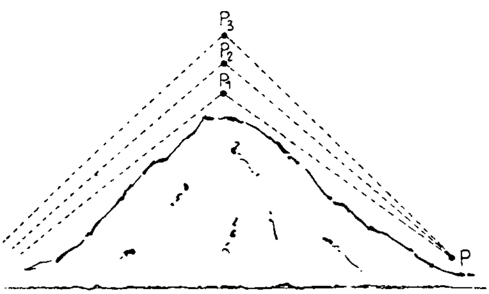


Fig. 48.

Le onde hertziane, le più lunghe dell'etere, si rifrangono molto facilmente, tanto che è possibile rivelarle anche quando fra la sorgente e l'istrumento rivelatore sono interposti ostacoli di grandi dimensioni (fig. 48).

Per rivelare la diffrazione delle cortissime onde luminose, sono necessarie speciali precauzioni. Comunemente infatti, l'ombra ben netta di un oggetto, starebbe a provare l'assurdità del principio di Huygens, come sostenne il grande Newton.

RIFLESSIONE. Un sistema di oscillazioni che si propaga in un mezzo qualsiasi, incontrando un ostacolo adatto sul suo cammino, *si riflette*, cioè cambia di direzione, seguendo determinate leggi, dette della *riflessione*. Anche questo fenomeno si spiega facilmente col principio delle sorgenti multiple ma ciò non ci può particolarmente interessare. L' ostacolo interposto o superficie riflettente, prende in pratica il nome di *specchio*. In generale si nota sempre riflessione quando le oscillazioni passano da un mezzo ad un altro, nel quale la loro velocità è differente. Si può dire allora che la superficie di separazione di due mezzi differenti è una superficie riflettente. Ma la oscillazione riflessa non rappresenta quasi mai la totalità di quella *incidente* sullo specchio, poichè parte di questa viene assorbita o riesce a passare oltre ecc.; la percentuale di

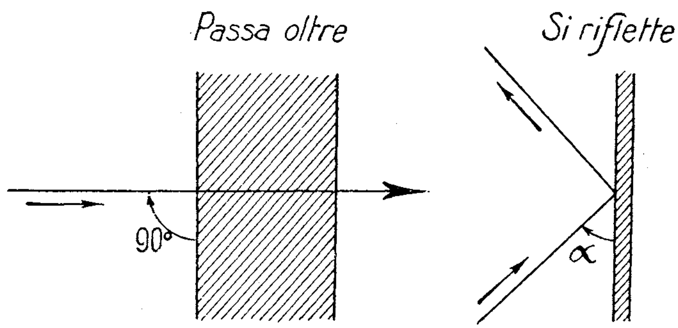


Fig. 49.

energia riflessa o in altri termini il potere riflettente dello specchio dipende (supponendone la superficie perfettamente levigata) dalla sostanza con la quale esso è composto e dall'angolo d' incidenza della vibrazione.

Riferendoci per esempio alle vibrazioni luminose si nota che una lastra di vetro anche di forte spessore è attraversata facilmente quando l' angolo di incidenza è vicino a 90°, (raggi pressochè perpendicolari (fig. 49). La riflessione risulta quindi quasi nulla; mentre la più sottile lastrina di vetro riflette quasi totalmente la luce che incide molto inclinata su di lei.

Se si ripete l' esperienza usando uno specchio metallico si nota invece che la percentuale di riflessione è sempre molto elevata, qualunque sia l' angolo di inclinazione del raggio luminoso. Questo caratteristico comportamento dei vari corpi determina il loro *potere riflettente*.

Appare evidente che usando uno specchio adatto, sia possibile inviare in una sola e determinata direzione tutta l'energia vibratoria della sorgente. Basandosi sulla legge della riflessione (equivalenza degli angoli dei raggi incidenti e riflessi fig. 50), si sono date forme speciali agli specchi per ottenere la massima concentrazione di energia vibratoria nella direzione desiderata. Utilizzando una calotta sferica (fig. 51) e ponendo la sorgente « fuoco » di essa, si ottengono vibrazioni riflesse sensibilmente parallele.

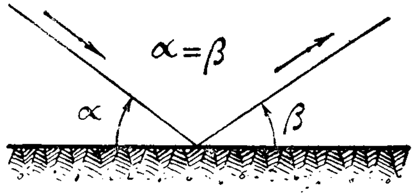
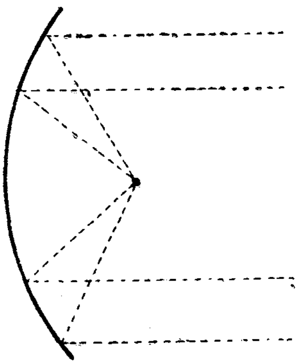


Fig. 50.


Fig. 51.

La stessa cosa può meglio ottenersi dando alla calotta una particolare curvatura geometrica detta *parabolica*. Onde sonore, caloriche, luminose, hertziane ecc. possonsi riflettere a mezzo di adatti specchi.

Il fenomeno della riflessione serve a spiegare in modo abbastanza attendibile alcune particolarità della propagazione radio-elettrica ed ha servito ultimamente, coll' uso di onde molto corte, ad interessanti applicazioni.

RIFRAZIONE. Quando un sistema di vibrazioni incide sulla superficie di separazione di due mezzi di differente natura, penetra in parte al di là di questa e in parte viene riflesso.

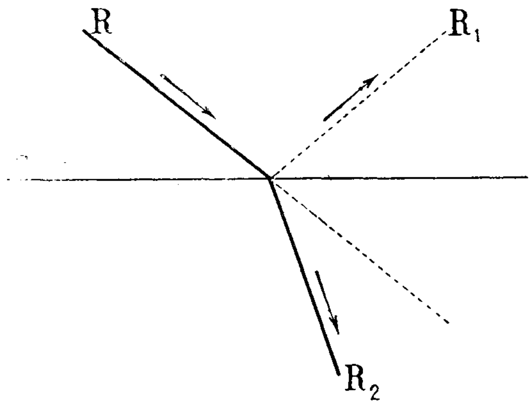


Fig. 52.

Supposta una vibrazione incidente secondo un raggio R (fig. 52) si nota una riflessione secondo R_1 ed una propagazione nel secondo mezzo secondo R_2. Ma questo secondo raggio non si trova sul prolungamento di R_1 come evidentemente potrebbe sem-

brare, ma bensì spostato da una parte o dall'altra di questo, a seconda della natura del mezzo attraversato.

Il raggio R_2 si dice *rifratto* e il fenomeno prende il nome di *rifrazione.*

Non è possibile studiarne qui la natura per la brevità che ci siamo imposti: basti soltanto sapere che, analogamente alla riflessione, esso può spiegarsi col principio delle sorgenti multiple.

In pratica gli esempi di rifrazione sono molto comuni specialmente riferiti al caso della propagazione di onde luminose. Così ad esempio, a casi di rifrazione debbonsi ascrivere le apparenti deformazioni di oggetti immersi in un liquido, gli spostamenti e probabilmente il tremolio delle stelle, dovuto al passaggio delle vibrazioni luminose attraverso a succesivi strati atmosferici in differenti condizioni di densità, le proprietà di quasi tutti i nostri strumenti ottici ecc.

Le onde radio-elettriche, analogamente a quelle luminose, seguono le leggi della rifrazione come per primi Hertz e Righi provarono: attualmente però, sebbene si sia spesso inclinati ad ascrivere a fenomeni di rifrazione certe particolarità della propagazione hertziana a grande distanza non si ha ancora un sufficiente materiale esperimentale che convalidi l'ipotesi.

Polarizzazione delle oscillazioni. — Riferendoci ad un sistema di vibrazioni trasversali che si propaga lungo un raggio, non abbiamo finora considerato il piano, secondo il quale si effettua le propagazione.

Così, per esempio, supposto un raggio *r*, la vibrazione potrebbe propagarsi mantenendosi in un qualunque piano passante per *r* (α e β della fig. 53 p. es.), quindi le particelle di ogni punto del mezzo, si muoverebbero *in ogni direzione* perpendicolarmente ad *r*.

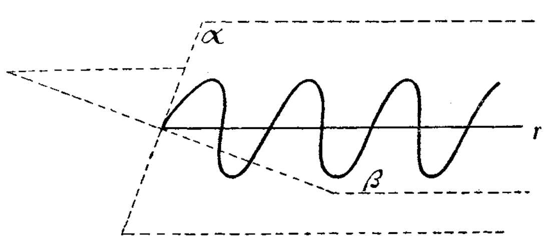


Fig 53

È questo infatti che si suppone nel caso generale della propagazione del moto vibratorio.

Ma alle volte può accadere che le particelle del mezzo siano sollecitate a vibrare lungo rette tutte orientate fra loro o in altri termini che l'oscillazione venga ad essere propagata secondo un particolare piano degli infiniti che passano per *r* (per esempio α della fig. 53).

Si dice allora che la perturbazione del mezzo è *polarizzata rettilineamente*. Sappiamo come due moti vibratori diversi possono *comporsi* dando luogo a un moto risultante: così due sistemi di vibrazioni polarizzate rettilineamente, componendosi, danno luogo a un nuovo sistema di vibrazioni polarizzato *elitticamente*, nel quale cioè le particelle del mezzo vibrano seguendo delle traiettorie elittiche o circolari.

Un oscillazione in movimento può venire polarizzata a mezzo della *riflessione* o della *rifrazione*. Tralasciandone la spiegazione, vediamo elementarmente le particolarità del fenomeno.

Se facciamo riflettere sopra uno specchio adatto *s* (fig. 54) un fascio O, si nota che le vibrazioni del fascio riflesso O_1 sono totalmente o in gran parte *polarizzate* (¹). Analogamente considerando il fascio rifratto O_2 si nota la parziale o totale sua polarizzazione (²).

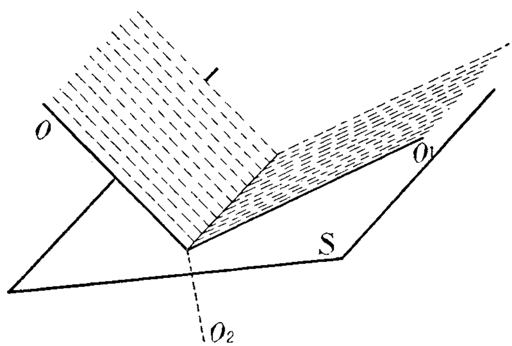


Fig. 54.

Per risentire i massimi effetti di un moto vibratorio polarizzato linearmente, occorre sistemare l' insieme rivelatore nel piano di polarizzazione, mentre evidentemente gli effetti sono nulli, se esso si trova in un piano perpendicolare a questo.

La polarizzazione di onde eteree (caloriche, luminose, hertziane) è molto comune ed ha fornito un utilissimo metodo di indagine specialmente nelle applicazioni dell' *ottica*.

Modernamente però, si è trovato che anche nei riguardi della propagazione con onde radio-elettriche, il fenomeno prende parte importante e di non comune interesse.

Ed è appunto per renderci ragione di quanto avremo a ridire sull'argomento, che ho introdotto questo cenno in forma così succinta ed elementare.

Le onde elettromagnetiche. — Finora abbiamo considerato le onde eteree (luminose, hertziane, ecc.), come perturbazioni *meccaniche*

(¹) Più precisamente il piano di polarizzazione risulta lo stesso piano d' incidenza.

(²) Altri metodi esistono in pratica per ottenere vibrazioni polarizzate ma ciò non ci interessa particolarmente.

del mezzo etere e quindi paragonabili a quelle che si propagano nei mezzi materiali (aria, acqua, ecc.).

Dopo avere compreso il concetto della propagazione, cerchiamo di comprendere *in sintesi*, ciò che il grande fisico Maxwell, ideò per coordinare e completare la prima teoria.

La teoria elettromagnetica (o di Maxwell) non modifica nè contrasta menomamente la prima (o di Fresnell) poichè essa sostituisce soltanto alle vibrazioni meccaniche dell' etere, vibrazioni analoghe di natura elettrica, dette appunto *elettromagnetiche*. Ricordiamo (v. pag. 10) che in determinate condizioni, è possibile fare fluire in un dielettrico una corrente di *spostamento* per un tempo più o meno lungo, o più precisamente, finchè la reazione dell'etere del dielettrico, non fa equilibrio alla forza elettrica agente.

Queste correnti di spostamento, hanno in genere una durata molto piccola, quindi è possibile ammettere che nessuna corrente *continua* può praticamente fluire in un dielettrico.

Però se la forza elettrica agente è alternativa, la perturbazione dell'etere inverte ciclicamente il suo senso, e quindi si hanno nel dielettrico vere e proprie correnti, che pure ciclicamente cambiano di senso, cioè *correnti alternative di spostamento*.

Queste correnti di spostamento nel dielettrico, alternativamente variabili, danno origine a perturbazioni *elettriche* e *magnetiche* dell'etere, variabili alla stessa guisa, analogamente a quanto succederebbe se queste correnti percorressero un conduttore.

Le particolari condizioni di tensione elettrica e magnetica dell'etere sono quindi continuamente variabili per ognuna delle infinite superfici sferiche che inviluppano il centro di oscillazione.

Maxwell ha dimostrato, che queste particolari condizioni si ritrovano ad uguali intervalli di tempo su superfici successive dello spazio, e che la distanza fra queste, è equivalente a quella che si sarebbe potuto percorrere nell'intervallo, con la velocità della luce.

La perturbazione elettrica e magnetica si propaga dunque nello spazio con questa velocità.

Quindi la luce stessa, il calore, la radio-elettricità, diventano perturbazioni elettriche e magnetiche dell'etere e si indentificano fra loro, poichè ogni differenza essenzialmente soggettiva, da noi stabilita, non ha più ragione di esistere.

Dalle più lunghe onde radio-elettriche, alle più corte da noi conosciute, l'essenza della perturbazione eterea è la stessa, determinata dagli stessi agenti, dotata della stessa velocità.

Le sue caratteristiche, rispetto ai nostri sensi, dipendono soltanto dalla *frequenza* di oscillazione.

La prima teoria ci dava un concetto materiale dell'etere, di qualche cosa cioè che può meccanicamente vibrare; e ci aveva anzi obbligati ad ascrivergli qualità di solido perfetto; la seconda invece ammette come possibili in lui deformazioni, oggi inscrutabili, di natura elettrica; essa dunque ci obbliga ad ascrivergli una elasticità di natura particolare ed ugualmente inscrutabile: una elasticità elettro-magnetica.

Ammessa l'ipotesi di Maxwell, cerchiamo ora di vedere il reciproco e caratteristico comportamento della perturbazione elettrica e di quella magnetica nei vari punti dello spazio.

Supponiamo che una corrente alternata di frequenza molto alta sia costretta a percorrere il conduttore *AB* (fig. 55) isolato nello spazio. Essa determina nel dielettrico circostante un campo elettrico e un campo magnetico che si propagano a distanza con la velocità della luce. Ma per determinare un campo elettrico o un campo magnetico occorre energia, quindi anche nel nostro caso una certa quantità della energia elettrica del conduttore viene dissipata ad ogni istante, per realizzare la deformazione elettromagnetica dell'etere.

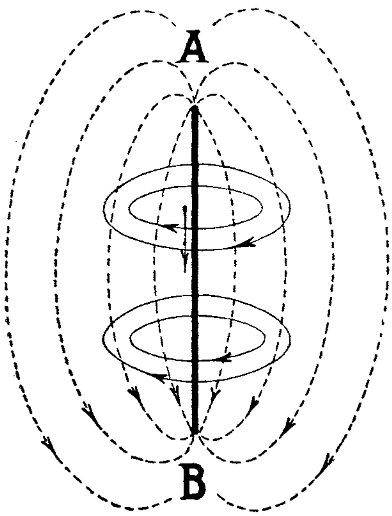


Fig. 55.

Si dice che questa energia viene *irradiata.*

Più propriamente si potrebbe affermare, che essa viene trasformata in energia elettromagnetica dell'etere.

Le azioni elettriche sono dovute alla variazione del potenziale nei vari punti del filo: le linee di forza elettrica si trovano quindi nei piani che passano per il conduttore *AB* e la loro direzione si inverte continuamente.

Le azioni magnetiche sono invece dovute a *movimento* alternativo di elettroni fra i punti *A* e *B* (corrente alternativa): le linee di forza magnetica si trovano allora su circonferenze concentriche ad *AB* (regola d'Ampére) e anche la loro direzione si inverte continuamente.

Il campo elettrico e il campo magnetico hanno quindi direzioni esattamente perpendicolari (sono cioè: *in quadratura*).

Vedremo in seguito perchè tutte le volte che la corrente alternativa di AB cambia di segno, una certa quantità di energia venga ceduta all'etere per propagarvisi con la velocità della luce. Ammesso per ora questo e sapendo che ad ogni impulso corrisponde un'onda nell'etere, si comprende che quante più volte la corrente di AB si inverte nell'unità di tempo, tanto più elevato è il numero di « onde » contenuto in questa unità.

Ora la velocità di propagazione essendo costante, la perturbazione dell'etere raggiunge nell'unità di tempo una distanza determinata, qualunque sia la frequenza della corrente di AB. Ma se nell'unità è compreso un numero maggiore di onde (frequenza aumentata), e la distanza percorsa non può variare, la lunghezza di ciascuna di queste deve essere minore (fig. 56). Un caso esattamente contrario si verificherebbe diminuendo la frequenza.

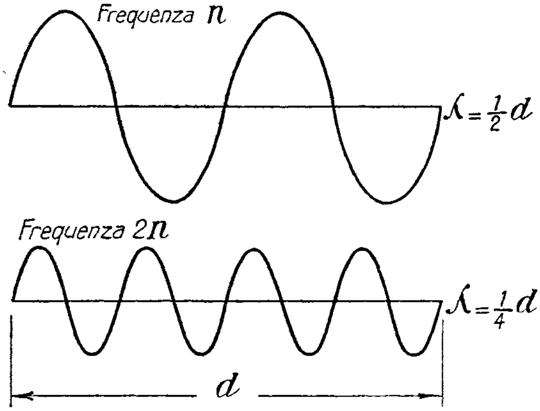


Fig. 56.

È in base a ciò che si sono classificate le varie perturbazioni dell'etere in relazione alla lunghezza delle loro onde (v. pag. 40).

Così le *radio-elettriche* sono oggi utilizzate per comunicare a distanza con λ da 30 mila metri a 30 centimetri (frequenza da 10 mila a un miliardo di periodi) mentre quelle del *calore* e della *luce* sono infinitamente più corte.

Le prime si producono facilmente facendo percorrere ad un conduttore (analogo ad AB) una corrente alternativa di adatta frequenza; le altre si otterrebbero alla stessa guisa riducendo le dimensioni di questo a grandezza infinitamente piccola e aumentando ancora la frequenza della corrente. Ciò è per ora impossibile coi nostri mezzi; a noi è concesso soltanto a mezzo di qualche artificio (attrito, riscaldamento, ecc.) eccitare un movimento alternativo di elettroni in seno agli atomi stessi dei corpi: sono appunto le onde elettromagnetiche generate nell'etere da moti vibratori interatomici di elettroni, che producono in noi la sensazione di calore, luce, ecc.

Le onde radioelettriche. — Un conduttore percorso da una cor-

rente alternativa di adatta frequenza può quindi irradiare dell'energia nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche.

In pratica un conduttore di questo genere prende il nome di *antenna* e costituisce il cosidetto *sistema radiante* (vedi terza parte).

Supposto un generatore di corrente alternata *G*, si realizza molto facilmente un sistema radiante, collegando agli estremi di questo, due conduttori identici tesi nello spazio (fig. 57). Essi evidentemente formano le armature di un condensatore, separate dal dielettrico aria che le circonda.



Fig. 57.

La f. e. m. alternativa impressa fra *a* e *b* varia continuamente le cariche elettriche dei due rami *bc* ed *ad*. In altri termini supposta ad un dato istante una carica positiva su *bc* ed una negativa su *ad*, ci troviamo dopo un semiperiodo in condizioni opposte e cioè con una carica negativa su *bc* ed una positiva su *ad*.

Riferendoci alla teoria elettronica, possiamo stabilire che il generatore *G* ha lo scopo di inviare o togliere elettroni nei due rami.

Così *bc* per ricevere una carica positiva deve cedere elettroni ad *ad*, mentre per una carica negativa, gli elettroni debbono essere forniti da *ad*.

Per questa ragione è necessario che i due rami *ab* e *bc* abbiano una certa *capacità* elettrica, e possano quindi immagazzinare, nel dielettrico, una certa quantità di elettricità. Così si usa molto

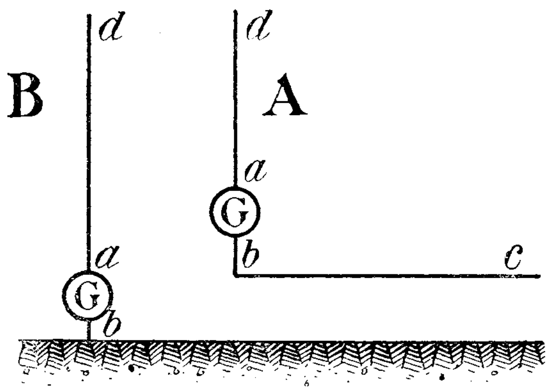


Fig. 58.

spesso avvicinare uno dei due tratti alla terra o addirittura collegarsi con questa, eliminando il conduttore. Nel primo caso si dice di usare un *contrapeso*, nel secondo una *presa di terra* (fig. 58 - *A* e *B*).

Tutti questi artifici, come pure ogni particolare tipo di *antenna* della pratica, mirano quindi ad assicurare una sufficiente capacità del sistema radiante.

Veniamo ora a parlare del meccanismo della *irradiazione.*

Noi sappiamo anzitutto come attorno alla nostra antenna, percorsa dalla corrente di *G*, esista un campo elettrico e un campo magnetico, e come essi rappresentino una certa quantità di energia immagazzinata nell'etere.

La principale proprietà di questi due campi si esprime dicendo che essi *possono trasformarsi uno nell' altro se sono dotati di movimento.*

Infatti sappiamo che ruotando una calamita nei pressi di un conduttore *AB* (fig. 59) il campo magnetico in movimento così generato, è capace di fare nascere una f. e. m. nel conduttore. Il potenziale agli estremi di questo determina allora un campo elettrico intorno ad *AB.*

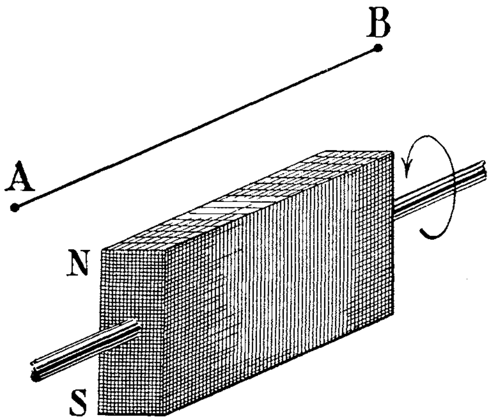


Fig 59.

Il concetto inverso, cioè della generazione di un campo magnetico dal movimento di un campo elettrico, è più difficilmente illustrabile con un esempio pratico.

Potremmo supporre di muovere rapidamente nei pressi di un ago calamitato un corpo carico di elettricità: l'ago sarebbe sollecitato a muoversi dal campo magnetico così generato.

Supponiamo ora di mandare una corrente continua in un avvolgimento: essa genera un campo magnetico.

Togliendo la corrente dal conduttore, il campo si riduce a zero, ma per far ciò si « *muove* » in certo qual modo rispetto al conduttore, inducendo una f. e. m. e quindi un campo elettrico.

In questo modo tutta l' energia immagazzinata nell' etere sotto forma magnetica viene restituita al conduttore.

Analogamente succede nel caso di un conduttore carico di elettricità (condensatore), poichè la scarica che da esso si ottiene, ci rappresenta la restituzione da parte dell'etere di tutta l'energia da prima immagazzinata.

Supponiamo di considerare la nostra antenna della fig. 57. La cor-

rente variabile che la percorre genera naturalmente un campo elettrico e uno magnetico in direzioni ortogonali. Ma in questo caso data la forma *aperta* del sistema, la perturbazione del dielettrico si estende ad una distanza molto grande, d'ordine certo paragonabile alla grandezza del sistema stesso.

Poichè la perturbazione non raggiunge istantaneamente ogni punto, ma si propaga con una certa velocità, il tempo impiegato da essa per raggiungere punti così lontani non è certo trascurabile ([1]).

Supponiamo che *G* stia imprimendo fra *a* e *b* una differenza di potenziale tendente a un massimo. Anche il campo elettrico in *P* (fig. 60) tende a un massimo, con lo stesso andamento di *G*, ma con un ritardo dipendente dal tempo speso dalla perturbazione a percorrere la distanza *G P*.

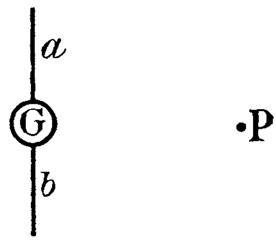


Fig. 60.

Raggiunto il massimo la differenza di potenziale fra *a* e *b* comincia a diminuire, tendendo a zero, quindi anche l' intensità del campo in *P*, diminuisce.

Nel caso or ora esaminato del condensatore, si notava a questo punto una corrente di scarica, che rappresentava l'energia che dall'etere ritornava al conduttore.

Anche l'energia dell'etere in *P* tende a ritornare al conduttore, ma in questo caso interviene il fattore *tempo*.

Infatti prima che *tutta* l'energia immagazzinata nell'etere possa ritornare in *a b*, la corrente di *G* raggiunto lo zero, ricomincia a crescere tendendo a un nuovo massimo.

Un nuovo campo viene così generato, e in altri termini nuova energia viene ad essere ceduta all'etere così da impedire il ritorno di quella da prima immagazzinata.

In queste condizioni, una certa quantità di *energia*, sotto forma di campo elettrico, si trova nello spazio completamente staccata ed indipendente dal conduttore.

Analogamente, considerando il campo magnetico in *P*, si comprende, che la parte di energia, che come deformazione magnetica dell'etere, non ha potuto ritornare al conduttore, rimane libera nello spazio.

Questi due campi, liberi nello spazio, vi si propagano con la velocità della luce, *sostenendosi a vicenda.*

([1]) La nota cifra di 300 mila chilometri al secondo è naturalmente un valore arrotondato. Da esperienze odierne appare come abbastanza approssimata una velocità di 299.820 km.

Infatti esssi non hanno ragione di esistere separatamente poichè là dove vi è campo elettrico in movimento, deve immancabilmente esservi campo magnetico (v. pag. 52).

Si comprende allora che le due quantità di energia debbono essere uguali e come le loro variazioni avvengano contemporaneamente.

Il campo elettrico e il campo magnetico *irradiati* sono infatti *in fase* [1].

Essendo il campo elettrico e magnetico, prodotti dall'antenna (nelle sue immediate vicinanze) continuamente variabili, anche la parte di energia libera nello spazio deve seguire queste variazioni. Ora, poichè la propagazione richiede un tempo materiale, avremo una graduale distribuzione di energia con massimi e minimi di intensità, paragonabile meccanicamente ad un *onda*.

Essa prende infatti il nome di *onda elettromagnetica*.

Riepilogando, è possibile affermare che una corrente alternata di frequenza adatta, immessa in un antenna, determina due campi; (ambedue con componenti elettriche e magnetiche).

Un *campo di induzione* generato dall'energia che dopo essere stata ceduta all'etere riesce a ritornare al conduttore. Questo campo è analogo a quello generato nei casi comuni di induzione. Esso è molto intenso nelle immediate vicinanze dell'antenna, ma si annulla rapidamente allontanandosi da questa.

A distanza invece comincia a predominare il campo *di irradiazione*, determinato dall'energia che sotto forma magnetica ed elettrica non ha potuto ritornare al conduttore.

Ambedue i campi esistono a qualunque distanza dall'antenna, se pure il valore del primo risulta così ridotto, da essere praticamente considerato nullo.

Il rapporto delle energie del campo di induzione e del campo di irradiazione ci dà naturalmente un'idea del rendimento (di irradiazione).

Si nota così che col crescere della frequenza della corrente oscillante, il rendimento aumenta. Riducendo invece sempre più la frequenza si nota che l'energia del campo di induzione predomina sempre più su quella di radiazione. Ciò è anche evidente, poichè intercedendo maggior tempo fra un periodo e l'altro, e restando la velocità di propagazione costante, una maggior quantità di energia può ritornare al conduttore, prima che la sua carica cambi di segno.

Così non si deve pensare che correnti a frequenza bassissima non determinino un campo di irradiazione: questo campo esiste certamente,

[1] Si ricordi che i campi nelle immediate vicinanze dell'antenna (di induzione) sono in *opposizione* di fase.

ma rappresenta una percentuale di energia così piccola, da essere praticamente considerato nullo, alla stessa guisa dell'energia del campo di induzione a grande distanza.

Produzione di onde elettromagnetiche. — Ci riferiremo ormai esclusivamente alla gamma radio elettrica, riservandoci tuttavia di riesaminare qualche volta le analogie di questa con le altre.

In questo caso proponiamoci il problema, risolto da Hertz, per comprovare l'ardita e fondata teoria di Maxwel: di produrre cioè praticamente e con mezzi elettrici onde elettromagnetiche.

Consideriamo il circuito della fig. 61, contenente auto induzione, capacità e resistenza, e supponiamo di caricare *C* a mezzo della batteria *P*. A carica ultimata togliamo *P* e chiudiamo il circuito a mezzo dell'interuttore *I*. Il condensatore allora si scarica, cioè l'etere del dielettrico che separa le due armature, restituisce al circuito la energia immagazzinata. Esaminiamo particolarmente questa scarica.

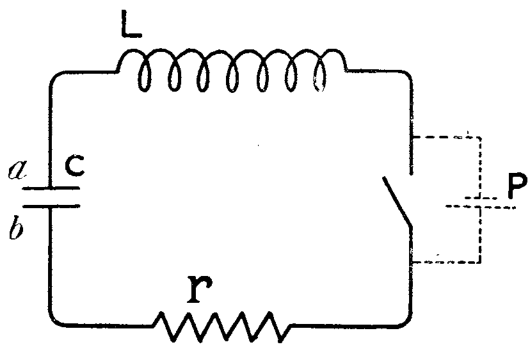


Fig. 61.

Se *r* è molto grande, la scarica è lenta, e il valore della corrente pressochè costante fino a raggiungere l'equilibrio. Possiamo trovare un caso molto analogo di scarica, considerando due serbatoi d'acqua situati a differente livello e collegati con un tubo molto sottile.

Se invece *r* è molto piccola, la scarica è rapidissima e molto più complessa. Essa è paragonabile alla scarica dei nostri due serbatoi quando il tubo di collegamento è estremamente grosso.

All'inizio della scarica la corrente tende a raggiungere il massimo consentitole dalla resistenza del circuito. La sua grandezza è quindi variabile continuamente. Ma allora essa deve determinare un campo magnetico variabile all'intorno dei conduttori.

Sappiamo che ciò richiede energia, che in questo modo viene ancora ceduta all'etere sotto forma magnetica. In altre parole la corrente è ostacolata da una forza contro elettro motrice che si oppone alla sua variazione e che è tanto più cospicua quanto più notevole è il valore dell'indut-

tanza (v. pag. 15). Avvicinandosi la scarica alla fine e tendendo la corrente a diminuire, l'etere comincia a restituire energia al circuito, opponendosi ad una nuova variazione della corrente.

In altri termini la f. e. m. indotta favorisce ed esalta quella agente, mantenendo il più possibile costante la corrente nel circuito. Ma in questo modo la quantità di elettricità che può raggiungere *B*, è maggiore di quella necessaria all'equilibrio delle cariche, e quindi l'etere del dielettrico fra *a* e *b* può immagazzinare nuova energia, sotto forma elettrostatica.

Quando la differenza di potenziale è sufficientemente alta, si ha una nuova scarica in senso inverso alla prima. Ciò determina un nuovo campo magnetico sufficiente a prolungare la corrente di quel tanto necessario a caricare il condensatore in senso inverso. In questo modo il fenomeno non può che prolungarsi indefinitamente.

Si dice allora che il circuito *oscilla*.

Ma ciò suppone che nessuna perdita di energia possa aver luogo nelle varie trasformazioni o in altri termini che la *resistenza effettiva* del circuito sia nulla.

In pratica però è impossibile evitare che parte dell'energia si trasformi in calore o venga irradiata. Il primo caso è principalmente dovuto alle cosidette perdite del circuito (resistenza intrinseca, isteresi dielettrica, vicinanze di corpi estranei, ecc.), il secondo si comprende invece facilmente pensando che non tutta l'energia immagazzinata nell'etere sotto forma magnetica ed elettrica può ritornare al circuito, poichè, per quanto piccola la distanza da percorrere, una parte, sia pur esigua, resta abbandonata e si propaga nello spazio. Le oscillazioni quindi si smorzano con un andamento identico a quello delle oscillazioni meccaniche di un corpo elastico (v. pag. 34). Dovremo allora parlare di *smorzamento* del circuito e di *decremento* delle oscillazioni che rappresentano grandezze perfettamente analoghe a quelle già esposte.

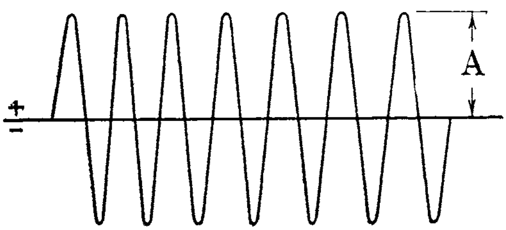


Fig. 62.

Se la resistenza effettiva di un circuito fosse nulla, lo smorzamento non esisterebbe, e una oscillazione per quanto piccola si prolungherebbe indefinitamente *con ampiezza costante*. Essa sarebbe cioè una oscillazione *persistente* (fig. 62).

Poichè questo caso non si può verificare in pratica si somministra ad intervalli al circuito energia sufficiente a mantenerlo in istato di oscillazione.

Se lo smorzamento del circuito non è molto grande e se l'intervallo è molto piccolo (dell'ordine del periodo), la corrente oscillante può considerarsi, in pratica, persistente nella sua ampiezza. Ma quando lo smorzamento è notevole, e specialmente quando l'energia viene somministrata ad intervalli di tempo molto grandi, la corrente oscillante si smorza, praticamente, fra uno e l'altro di questi, così che il circuito è alternativamente in istato di oscillazione e di quiete.

Effettivamente l'ampiezza dell'oscillazione, se pur piccolissima e continuamente decrescente, non raggiunge mai lo zero (fig. 63) [1]. Perciò

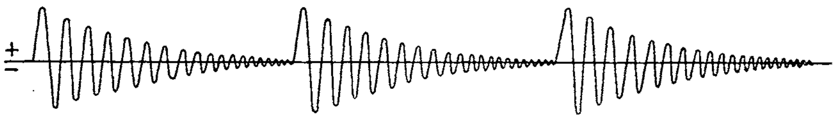


Fig. 63.

si è stabilito di considerare nulla una corrente oscillante quando la sua ampiezza equivale ad *un centesimo* di quella iniziale.

Una corrente oscillante del tipo rappresentato nella fig. 63, dicesi smorzata; essa si ottiene praticamente fornendo al circuito una serie di impulsi elettrici che si susseguono ad intervalli compresi fra un cinquantesimo ed un millesimo di secondo nelle applicazioni più comuni.

Ora se noi ci riferiamo ad una frequenza molto più elevata di oscillazione (per esempio 100 mila periodi) e supponiamo un intervallo di un millesimo di secondo, vediamo che fra un impulso e l'altro intercedono 100 periodi dell'oscillazione. Ma poichè è difficile ottenere in pratica più di 10 oscillazioni per ogni impulso, vediamo che i periodi di quiete sono molto più lunghi di quelli di lavoro e tanto più lunghi quanto più elevata à la frequenza. Questa è la principale caratteristica dell'oscillazione smorzata.

Ricordiamo (v. pag. 28) che in un circuito contenente induttanza e capacità in serie, qualunque siano i valori di queste, esiste sempre una determinata frequenza per la quale gli effetti contrari delle due grandezze si bilanciano e la reattanza risulta nulla. Questa frequenza si disse frequenza di risonanza.

Ora in un circuito analogo, di resistenza sufficientemente bassa perchè possa essere sede di oscillazioni, si nota che la frequenza di queste è esclusivamente determinata dai valori della capacità e della

[1] Prescindendo dalla *scala* del disegno naturalmente esagerata.

induttanza e che è esattamente uguale alla frequenza di risonanza. Essa prende il nome di *frequenza fondamentale* dell'oscillazione [1].

Ecco allora un nuovo sistema per generare delle correnti alternative: utilizzare cioè un circuito oscillante (induttanza e capacità) ed eccitarlo con impulsi elettrici susseguentisi molto rapidamente.

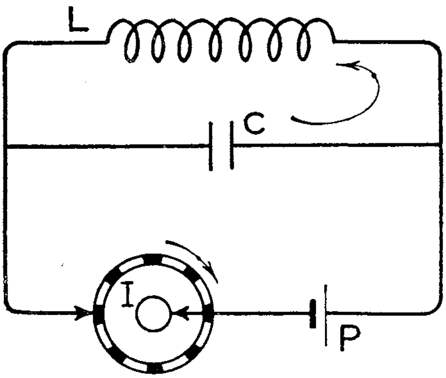


Fig. 64.

Così, dato il circuito della fig. 64, è possibile che esso divenga sede di oscillazioni, quando si interrompa la corrente della pila *P*, a mezzo di un adatto interruttore *I*.

La scarica attraverso un dielettrico o scintilla elettrica ha fornito in pratica un'altra soluzione.

Sappiamo che quando due conduttori separati da un isolante sono portati ad una differenza di potenziale elevata, la reazione del dielettrico può essere insufficiente ad impedire il passaggio della corrente di spostamento. Questa attraversa allora lo strato isolante sotto forma di scarica o *scintilla.*

Consideriamo allora il nostro circuito oscillante interrotto in un punto e supponiamo di portare le armature del condensatore ad un potenziale così elevato da provocare la scarica in *P* (fig. 65).

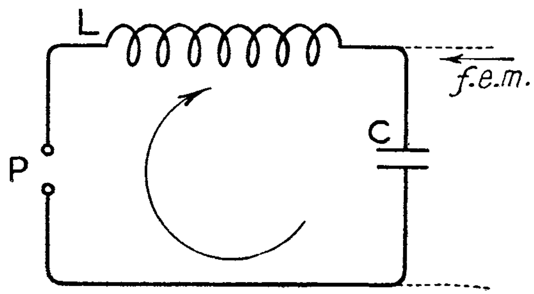


Fig. 65.

Il circuito riceve un impulso e viene chiuso durante un brevissimo istante attraverso alla scintilla stessa; se la resistenza di questa è molto piccola, esso può essere sede di oscillazioni. In effetto però il comportamento della scintilla è differente e più complesso di quanto non possa apparire da questo elementare accenno, poichè, quando lo spazio dielettrico è molto piccolo, la scarica non ha luogo in una sola direzione,

[1] Questa proprietà fu racchiusa dal Thomson in una formula molto semplice che può considerarsi base di ogni applicazione radio-elettrica:

$$\tau \text{ (durata del periodo)} = 2\pi \sqrt{LC}.$$

come apparentemente potrebbe sembrare, ma bensì essa si inverte molto rapidamente tanto che per ogni scintilla il circuito riceve parecchi impulsi di ampiezza via via decrescente anzichè il solo da prima supposto. In altre parole anche la natura della scintilla è oscillatoria.

Ciò modifica il *decremento* delle oscillazioni che, anzichè decrescere seguendo la legge esponenziale della fig. 66 *A* (v. pag. 34), diminuiscono tanto più rapidamente quanto più la d. d. p. è minore (fig. 66 *B*).

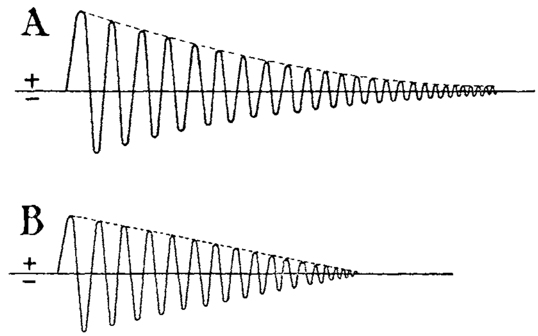


Fig. 66.

Lo smorzamento è quindi più rapido.

Ciò è anche spiegabile considerando che la resistenza della scintilla determina la trasformazione di parte dell'energia in calore, e quindi una perdita non trascurabile.

La natura della scintilla è infatti molto importante nella realizzazione di complessi oscillatori; essa ha luogo generalmente fra elettrodi molto vicini (spinterometro), di dimensioni sufficienti ad evitare il riscaldamento eccessivo. Questi, da prima costituiti da due semplici sfere, sono stati via via perfezionati specialmente allo scopo di permettere il passaggio

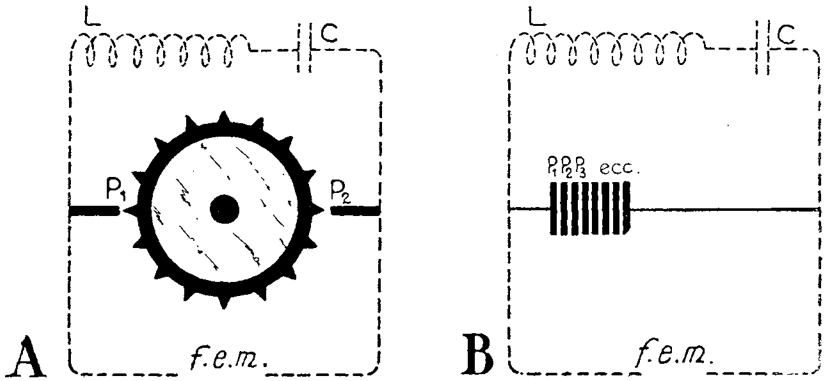


Fig. 67.

di una grande quantità di energia senza che la scarica cessasse di essere oscillante (si trasformasse cioè in *arco* conduttore).

È possibile citare il sistema a disco rotante di Marconi e quello Telefunken a scintilla strappata (fig. 67).

Altre volte si sono immersi gli elettrodi in una atmosfera gassosa semi-conduttrice (per esempio idrogeno o gas illuminante). Così con elettrodi di rame e d'alluminio in un'atmosfera di idrogeno umido, si sono ottenute frequenze di scintilla fino a 100 mila al secondo ([1]).

Siamo ora in grado di produrre correnti alternative di frequenza straordinariamente elevata, limitata soltanto dalla grandezza fisica dei nostri circuiti oscillanti che naturalmente non può essere ridotta oltre un certo limite.

Per trasformare queste correnti elettriche alternative in oscillazioni elettromagnetiche dell'etere non ci resta che esaltare il *campo di irradiazione* di intensità estremamente piccola che il nostro circuito oscillante genera nel dielettrico circostante. Sappiamo che per far ciò, occorre estendere il campo di induzione così lontano, che gran parte dell'energia accumulata da questo nell'etere, non riesca a ritornare al conduttore (v. pag. 53).

Ci basta allora aumentare la porzione di spazio abbracciata dal circuito stesso.

Possiamo raggiungere molto facilmente queste condizioni aumentando

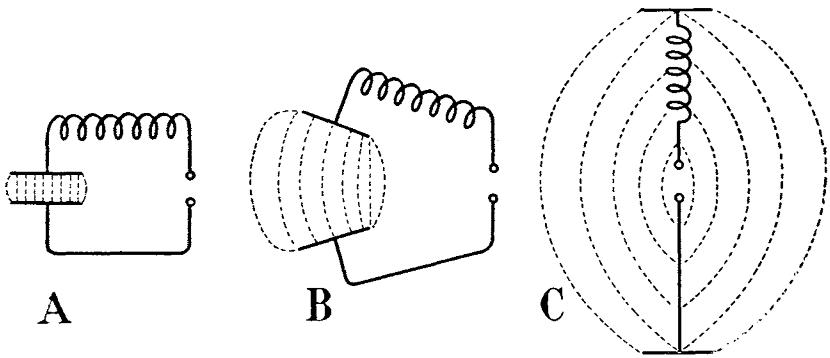


Fig. 68.

lo spessore del dielettrico del nostro condensatore, o in altre parole « *aprendo* » il circuito (fig. 68).

La capacità del sistema così costituito è naturalmente minore, quindi è possibile aumentare il valore dell'induttanza, che d'altra parte può essere costituita da un insieme di conduttori tesi nello spazio.

([1]) Oggi il sistema a scintilla è usato soltanto in casi speciali dalla pratica: esso richiederebbe tuttavia una trattazione ben più ampia e particolareggiata. I pochi cenni che precedono hanno soltanto lo scopo di indicarne le principali caratteristiche, specialmente in relazione alla produzione di frequenze altissime per la quale esso si presenta anche ai nostri giorni come il più adatto.

Ecco di nuovo la nostra « *antenna* » che compie le funzioni di generare ed irradiare, utilizzando rispettivamente la induttanza e la capacità distribuite, lungo il conduttore e le notevoli dimensioni di questo.

Hertz infatti, riuscì per la prima volta a produrre con mezzi elettrici onde elettromagnetiche, usando un conduttore rettilineo interrotto al centro da uno spazio dielettrico, che poteva essere attraversato dalla scarica (fig. 69). Il sistema radiante così realizzato si dimostra ancor oggi, come uno dei migliori ed efficienti, specialmente quando la frequenza di oscillazione è molto elevata (v. parte III).



Fig. 69.

Supponiamo ora che una grande parte dell'energia del nostro circuito oscillante possa venire « irradiata ». Le oscillazioni determinate in esso da ogni singolo impulso, vengono naturalmente ad essere dissipate più presto di quanto non accadrebbe se tutta l'energia ceduta all'etere ritornasse al conduttore; esse cioè si smorzano più rapidamente o in altre parole lo *smorzamento del circuito è maggiore, come se la sua resistenza fosse aumentata.*

Ciò si presenta in pratica come un difetto non trascurabile, poichè allontana sempre più l'oscillazione dalla forma *persistente* cui abbiamo sempre mirato. Per ovviare a questo difetto non resta che aumentare la frequenza degli impulsi che il circuito riceve o cercare di migliorare le caratteristiche del circuito stesso.

Il primo requisito è stato felicemente raggiunto in pratica con sistemi che esamineremo in seguito; il secondo si raggiunge senza difficoltà con vari sistemi che non staremo ad esaminare e specialmente, abbandonando l'oscillatore *aperto* che ha nello stesso tempo funzioni di radiatore ed utilizzando un circuito oscillante *chiuso* accoppiato induttivamente o attraverso ad una capacità, al sistema radiante (fig. 70) (1).

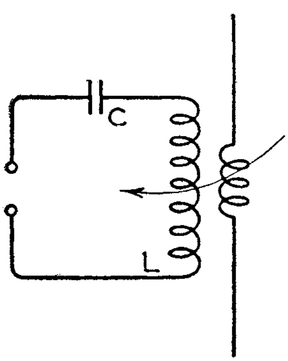


Fig. 70

Particolarità della propagazione radioelettrica. — Hertz e Righi, verificarono che le onde elettromagnetiche generate con mezzi elettrici, avevano analoghe proprietà delle onde luminose e caloriche.

Così si può parlare di *diffrazione, riflessione, rifrazione* e *polarizzazione* delle onde radio-elettriche. La moderna tecnica permette di indagare questi fenomeni con mezzi molto

(1) Non è possibile qui esaminare più particolarmente questo importante concetto. Nella terza parte riprenderemo l'argomento, considerandolo più ampiamente nei riguardi delle sue pratiche applicazioni.

perfezionati e dallo studio paziente di questi, cerca anzi di trarne argomenti sicuri per rendersi ragione della propagazione delle onde hertziane *all'intorno della nostra terra.*

Poichè non è possibile ascrivere a soli fenomeni di diffrazione e rifrazione, l'apparente grande curvatura che dovrebbe essere raggiunta dalle onde stesse per arrivare agli antipodi del punto di irradiazione, si sono immaginati fenomeni di riflessione, come determinati da uno strato gassoso conduttore, situato a qualche centinaio di chilometri oltre la nostra atmosfera e fenomeni di conduzione o incanalamento lungo la superficie terrestre.

Ma a ciò ci riferiremo in seguito, considerando i casi e le esperienze più recenti e riprendendo l'interessante argomento, ora così fugacemente accennato.

Consideriamo invece un punto qualunque dello spazio al quale giungono oscillazioni radio-elettriche. Se il radiatore ha la forma hertziana ed è situato verticalmente, le vibrazioni trasversali dell'etere non si effettuano già in tutte le direzioni normali al raggio di propagazione, come nel caso delle onde luminose (v. pag. 6), ma bensì le componenti elettriche e magnetiche, si trovano nel piano dell'antenna e nel piano normale a questa rispettivamente. Esse sono cioè *polarizzate.*

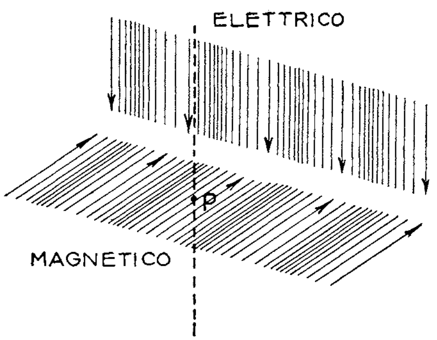


Fig. 71.

Se la distanza dal radiatore è molto grande i due campi si possono rappresentare graficamente con un sistema di linee parallele analogo a quello della fig. 71.

Se tendiamo verticalmente in P un conduttore, la sua posizione rispetto al campo elettrico e a quello magnetico è analoga a quella dell'antenna radiante, quindi una certa quantità di energia gli viene ceduta dall'etere.

Sappiamo che ciò determina nel conduttore una *f. e. m.* alternativa indotta di frequenza identica a quella che determina la irradiazione.

Il circuito è quindi percorso da una corrente tanto più intensa quanto minore è la sua resistenza effettiva o impedenza per quella particolare frequenza.

Ma ci è noto che per ogni determinata frequenza impressa, è possibile, variando i valori della capacità e dell'induttanza, rendere la

reattanza totale nulla (v. pag. 28). È conveniente allora portarsi in queste condizioni cioè al punto di *risonanza* poichè in questo caso la corrente è massima e dipendente soltanto dalla resistenza ohmica e dalle « *perdite* » del circuito.

Questa proprietà introduce una nuova caratteristica nel caso della propagazione radio-elettrica: la possibilità cioè di isolare, fra tante, una sola corrente indotta e precisamente quella per la quale il circuito è accordato (frequenza di risonanza).

Infatti se un grande numero di radiatori emette contemporaneamente frequenze diverse, nel nostro conduttore in P abbiamo una *f. e. m.* indotta per ognuna di queste.

Ma poichè l'impedenza presentata alle varie correnti, dipende dalla frequenza di queste, si nota che soltanto quelle per le quali il circuito è in condizioni di risonanza, raggiungono valori apprezzabili, mentre le altre incontrando una resistenza grandissima, non possono essere praticamente rivelate.

Abbiamo veduto (v. pag. 30) che le condizioni di risonanza si possono esprimere con una curva caratteristica. Se non esistesse alcuna perdita nel circuito e la resistenza ohmica fosse nulla, queste condizioni potrebbero essere rappresentate dalla fig. 72 e allora l'effetto di « *filtro* » del circuito risonante sarebbe massimo, poichè basterebbe la più piccola differenza di frequenza, per ridurre la corrente indotta ai più piccoli valori.

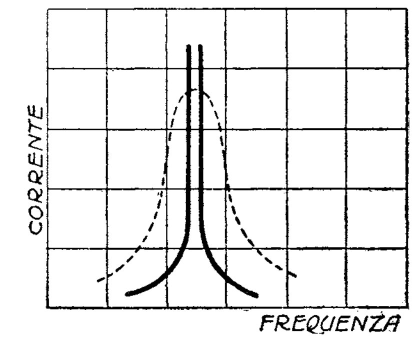


Fig. 72.

In pratica questo non può verificarsi per le imperfezioni dei nostri mezzi e per le « *perdite* » inevitabili nei vari circuiti.

La natura della vibrazione incidente è molto importante a questo riguardo: infatti un gruppo di oscillazioni fortemente smorzate incidendo in P induce delle correnti paragonabili ad una serie di rapidi impulsi. Questi in numero molto ridotto per ogni gruppo (da tre a dieci) equivalgono agli impulsi considerati nel caso della generazione (v. pag. 58) e non possono fare altro che eccitare il circuito ad oscillare spontaneamente *alla frequenza di risonanza* qualunque sia il loro periodo.

Così è impossibile separare più emissioni fortemente smorzate, utiliz-

zando il principio di risonanza. Si dice infatti che *lo smorzamento elimina l'acutezza di risonanza o di sintonia.*

Questa è la principale ragione che ci spinge ad avvicinarci sempre più alla emissione *persistente* che determinando correnti alternative indotte di ampiezza costante, e quindi soggette alle leggi della risonanza, permette un'acutezza di sintonia infinitamente maggiore.

Riepiloghiamo allora dicendo che: è possibile, utilizzando il principio di risonanza, fare una selezione fra un numero multiplo di correnti oscillanti.

Tanto più elevato è lo smorzamento del circuito radiatore e di quello « *selezionatore* » tanto meno notevole è l'effetto separatore di quest'ultimo (minore acutezza di sintonia).

Poichè lo smorzamento è essenzialmente dovuto alle varie resistenze del circuito (di perdita, di radiazione ecc. v. pag. 9) si arriva così al principio molto importante in pratica che: *La resistenza di un circuito tende ad annullare la sintonia.*

La rivelazione delle onde radio-elettriche. — Le onde radioelettriche non provocano in noi alcun effetto fisiologico come le onde luminose, calorifiche ecc.

Ma per scoprire l'esistenza di una determinata emissione radioelettrica, non abbiamo che rendere palese ai nostri sensi, una corrente alternativa indotta in un conduttore, comunque teso nello spazio.

Caratteristiche principali di questa sono la frequenza molto elevata e l'intensità generalmente molto piccola.

Possiamo rivelarla molto semplicemente utilizzando il *calore* da essa sviluppato nel conduttore, poichè sappiamo che la quantità di calore sviluppata da una corrente elettrica dipende dalla intensità di questa (v. pag. 20).

Se rendiamo allora il nostro conduttore colpito dalle radiazioni, tanto sottile da poter essere portato all'incandescenza dalla corrente che lo percorre, abbiamo una rivelazione ottica di questa.

Ciò si verifica facilmente nei pressi di un *potente radiatore*, specialmente quando si è prossimi alle condizioni di risonanza.

Ma un filo tanto sottile da divenire incandescente presenta una resistenza molto grande, quindi la corrente che lo attraversa non può essere molto intensa.

Conviene allora che il sistema collettore abbia una sezione metallica notevole e porti piuttosto intercalato in un punto, un conduttore corto e molto sottile che possa raggiungere l'incandescenza. Utilizzando il solito

sistema raccoglitore interrotto al centro da una minuscola lampadina elettrica, si può ottenere una chiara rivelazione ottica, anche a notevole distanza dal radiatore, sempre che si verifichino condizioni di risonanza (fig. 73).

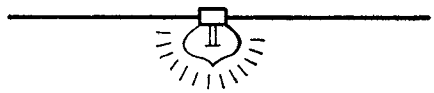


Fig. 73.

Ma la produzione di calore può essere rivelata, prima che il corpo riscaldato raggiunga la temperatura necessaria alla produzione di luce.

Sfruttando infatti la *dilatazione* dei corpi sottoposti a riscaldamento, si possono rivelare correnti molto più deboli e quindi allontanare ancor più il sistema collettore da quello radiante.

A questa categoria appartengono i cosidetti rivelatori *termici* che possono raggiungere sensibilità molto grandi.

Per ottenere chiare indicazioni anche con correnti dell'ordine del milionesimo di ampere, si utilizzano infine i rivelatori *termo-elettrici* o a coppia termo-elettrica, dei quali ci occuperemo in seguito.

Un complesso raccoglitore o ricevitore può essere allora facilmente realizzato, inserendo in un punto di un'antenna un adatto rivelatore termico e costruendo l'antenna stessa in modo, che la sua capacità o induttanza possano venire *variate*, per raggiungere le condizioni di risonanza, qualunque sia la frequenza della corrente da rivelare (fig. 74 *A*).

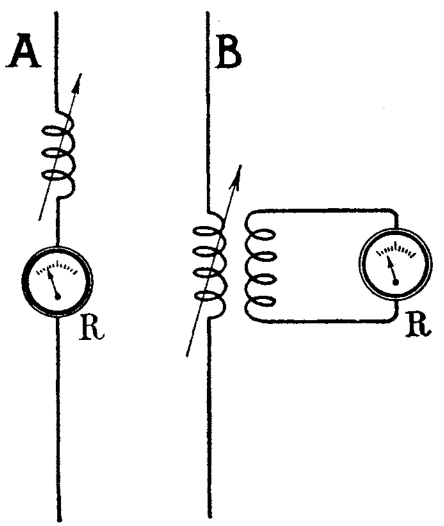


Fig. 74.

Volendo utilizzare nel miglior modo le qualità « selezionatrici » del circuito, si può usare l'accoppiamento *indiretto*, ottenuto cioè collegando induttivamente all'antenna, un circuito chiuso contenente il rivelatore (fig. 74 *B*).

Istrumenti termici sufficientemente sensibili per permettere la rivelazione di onde radio-elettriche a distanza notevole, sono delicati e molto costosi, nè la loro sensibilità risulta bastevole ai nostri scopi.

Si è pensato allora di utilizzare gli effetti *magnetici* della corrente

elettrica per ottenere utili indicazioni da istrumenti semplici e molto sensibili, già usati nella pratica, come p. e. il *galvanometro* e il *telefono*. Il primo consta essenzialmente di una minuscola bobina sospesa nel campo di un magnete permanente (fig. 75). Quando una corrente elettrica percorre quest' ultima, produce un campo magnetico, che reagisce con quello già esistente, determinando uno spostamento angolare della bobina, proporzionale all' intensità della corrente stessa.

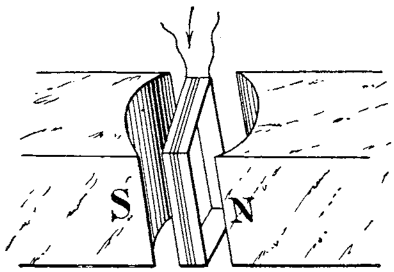


Fig. 75.

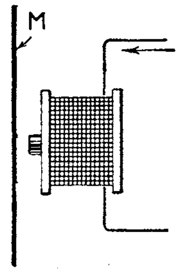


Fig. 76.

Il secondo, universalmente noto, trasforma le variazioni del campo magnetico, generate da una corrente *variabile* che percorre un avvolgimento, in vibrazioni meccaniche di una lamina magnetica (fig. 76) (1).

La differenza sostanziale dei due sistemi è che il primo è sensibile soltanto a correnti perfettamente continue o per lo meno variabili molto lentamente, mentre il secondo non avverte che il passaggio di correnti variabili.

Una corrente alternativa di frequenza radio-elettrica dovrebbe imprimere movimenti alternativi tanto alla bobina del galvanometro quanto alla lamina del telefono. Ciò non si verifica in pratica, poichè l' inerzia posseduta da queste due parti, è sufficiente ad impedire loro di seguire le variazioni della corrente, nè d' altra parte, anche se fosse possibile evitare l' inerzia, il movimento rapidissimo risultante, sarebbe capace ad influenzare i nostri sensi.

Si è pensato allora di ridurre la corrente alternativa, indotta nella

(1) La sensibilità di questo istrumento può raggiungere limiti difficilmente immaginabili. Essa dipende entro certi limiti dal numero delle spire che compongono l' avvolgimento (v. pag. 3). Se esistesse un conduttore che non presentasse resistenza alcuna, converrebbe aumentare sempre più questo numero per raggiungere sensibilità sempre maggiori. In pratica invece anche utilizzando il rame più puro, si raggiungono resistenze dell' avvolgimento molto elevate, per le sue dimensioni necessariamente ridotte. Poichè i conduttori adottati in commercio nella costruzione di telefoni, hanno sezioni molto simili, si esprime appunto in termini di *resistenza* il numero delle spire dell' avvolgimento.

antenna, in corrente continua, o in altre parole di inserire nel circuito una particolare « *valvola* », che potesse essere attraversata dalla corrente, soltanto quando questa avesse un determinato senso.

Così supposta la corrente alternativa sinusoidale della fig. 77, si può far sì che attraverso la nostra valvola, passi corrente soltanto durante i semi-periodi positivi o durante quelli negativi, ottenendo in questo modo una corrente *pulsante*, la direzione della quale non cambia mai, e quindi praticamente una corrente *continua*.

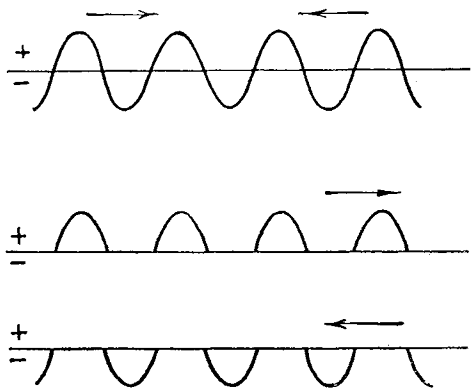


Fig. 77.

La valvola particolare necessaria, prende il nome di *raddrizzatore* e viene spesso ed impropriamente chiamata coi nomi di *rivelatore, detector* ecc.

Gli effetti dei vari impulsi unidirezionali della corrente così raddrizzata, non possono che sommarsi nella bobina del galvanometro determinandone la deviazione.

Usando allora un raddrizzatore e un galvanometro molto sensibile, collegati ad un antenna nel solito modo è possibile aumentare di molto la distanza fra il radiatore e il sistema rivelatore (fig. 78).

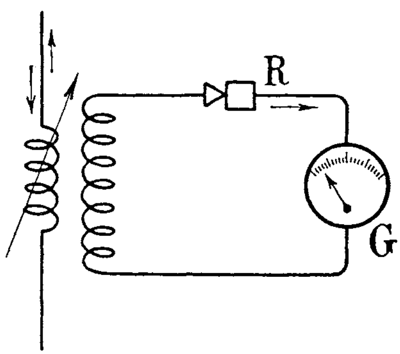


Fig. 78.

Se invece del galvanometro colleghiamo il telefono, si nota che questo rimane silenzioso, poichè la frequenza della pulsazione della corrente raddrizzata è troppo alta perchè la membrana telefonica la possa seguire. Effettivamente essa viene attirata non appena la corrente comincia a fluire nel circuito, ma rimane permanentemente deformata per tutta la durata di questa, per ritornare alla posizione d'equilibrio soltanto quando la corrente si riduce a zero.

Se la corrente raddrizzata viene *interrotta* localmente a frequenza

udibile, il telefono riproduce esattamente questa frequenza e rende un rumore o un suono continuo, finchè la corrente fluisce nel circuito, cioè fintanto che il radiatore emette onde nello spazio. Si realizza facilmente ciò mettendo in serie al tefefono un interuttore rotativo o vibrante (fig. 79).

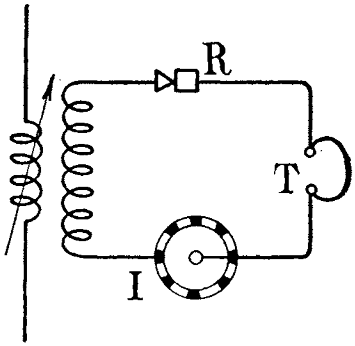


Fig. 79.

Ma nel caso di emissione con onde smorzate sappiamo che le oscillazioni in gruppi di 10 o 15 al massimo, sono separate da lunghi intervalli di tempo, e che precisamente per ogni impulso che riceve l'antenna, si ha l'irradiazione di un gruppo. Ora, poichè la frequenza degli impulsi dipende da noi, e non è in pratica quasi mai superiore a 1000, la corrente rivelata è già di per sè stessa interrotta, quindi il telefono la trasforma direttamente in un suono, di altezza dipendente dalla frequenza di questi impulsi (fig. 80).

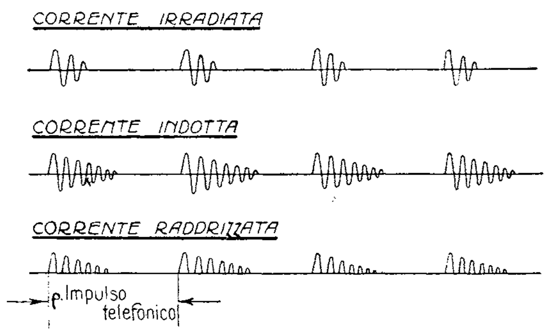


Fig. 80.

Ci si può portare in queste stesse condizioni quando l'onda irradiata è *persistente*, interrompendola alla partenza, anzichè all'arrivo, cioè rendendo intermittente la irradiazione. Così se questa si interrompe mille volte al secondo il telefono riproduce una nota musicale di mille periodi.

Questo artificio prende il nome di *modulazione*. Perchè allora non interrompere l'emissione con una frequenza continuamente variabile, come ad esempio quella propria della gamma dei suoni e delle parole? Infatti se con adatti artifici fosse possibile variare l'intesità della radiazione, con un ritmo sonoro qualsiasi, avremmo al nostro telefono, alimentato da un complesso collettore-raddrizzatore situato nel campo di radiazione, la riproduzione esatta di questo ritmo sonoro.

Ecco la base della trasmissione telefonica senza filo.

Da quanto precede risulta ben chiaro, che una delle parti più impor-

tanti in un complesso ricevente è il *raddrizzatore*. Questo deve presentare una conduttività il più possibile unilaterale, cioè la sua resistenza deve essere molto grande quando la corrente fluisce in una direzione e più piccola possibile quando la direzione si inverte. In pratica si sono trovati vari sistemi raddrizzatori; essi tuttavia si possono classificare in due categorie e cioè in raddrizzatori *elettronici* e raddrizzatori a *cristallo*.

Tratteremo dei primi nel capitolo seguente e avremo spesso occasione di trattare dei secondi. Questi ultimi sfruttano una particolare proprietà di alcune sostanze cristallizzate, per la quale presentano a correnti alternative impresse, una conduttività unilaterale molto spiccata, o in altre parole un notevole effetto raddrizzatore.

Questo si nota generalmente mettendo in contatto due cristalli differenti, in modo che la superficie comune sia la più piccola possibile o stabilendo il contatto fra una punta metallica e un cristallo (fig. 81).

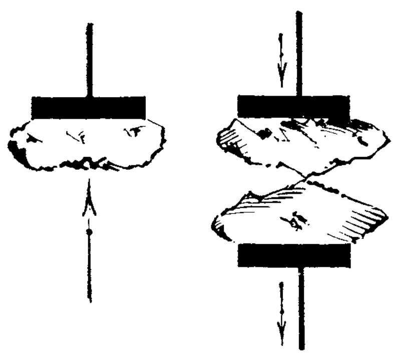


Fig. 81.

Questa proprietà, lungamente studiata, non ha ricevuto ancora un esauriente spiegazione, confermata dall'esperienza.

Tuttavia si sono notati due comportamenti ben distinti: uno nel quale l'effetto raddrizzatore è dovuto principalmente a fenomeni termoelettrici, che subentrano nel punto di contatto, che in questo caso deve avere una superficie la più ridotta possibile; l'altro invece sembra determinato dalla natura fisica del cristallo, che possiederebbe una conduttività particolare, non dipendente dalla legge di Ohm, la quale faciliterebbe in certo qual modo il passaggio della corrente in un senso, piuttosto che nell'altro. Si sono anche avanzate idee che tenderebbero a provare come l'effetto raddrizzatore dipenda da fenomeni elettrolitici ed elettronici che accadono alla superficie del cristallo. Ma ciò esula dal compito che ci eravamo proposti, di illustrare cioè i fenomeni più salienti che intervengono nelle comunicazioni senza filo e che hanno permesso, nella loro *apparente* semplicità, una diffusione così grande di queste.

CAPITOLO III.

LA VALVOLA IONICA

Emissione elettronica. — Gli atomi che costituiscono un corpo qualunque sono in continuo stato di agitazione termica e si muovono disordinatamente (v. 1° cap.).

Infatti soltanto alla temperatura dello *zero assoluto* esiste la completa quiete atomica e molecolare.

Sappiamo d'altra parte, che gli atomi possono perdere elettroni e che ciò si verifica con molta facilità, quando il corpo cui appartengono è un *conduttore.*

Considerando appunto un conduttore, abbiamo, al solito, un disordinato movimento di atomi e anche un movimento di elettroni *liberi*, che possedendo una massa molto più piccola, acquistano velocità molto più grandi. Quando nessuna f. e. m. è applicata al conduttore, gli elettroni si muovono in ogni direzione, subendo continue collisioni con gli atomi e con le molecole, con velocità dipendenti dalla temperatura.

Gli atomi e le molecole dei corpi tendono a separarsi tra loro, col crescere della temperatura e ciò prende il nome di *evaporazione.*

Ogni corpo possiede tuttavia una *tensione superficiale*, che impedisce l'evaporazione al di sotto di una certa temperatura. Aumentando questa, gli atomi acquistano moti più rapidi, riescono a vincere la tensione superficiale, e il fenomeno della evaporazione si può verificare.

Anche i metalli possono evaporare, ma poichè la loro tensione superficiale è notevole, sono necessarie temperature molto elevate, perchè ciò avvenga in modo apprezzabile.

Gli elettroni liberi invece, possedendo velocità maggiori di quelle degli atomi, possono più facilmente vincere la tensione superficiale, o in altre parole, la temperatura necessaria a determinare l'« evaporazione » di elettroni, è minore di quella necessaria a determinare l'evaporazione di atomi (1).

(1) Più propriamente, secondo la teoria di Richardson, gli elettroni sono ostacolati (ad abbandonare il metallo) da forze *elettriche* analoghe a quelle *molecolari* che determinano la tensione superficiale di un liquido.

Così come è possibile accelerare l'evaporazione di un liquido, elevandone la temperatura, alla stessa guisa è possibile accelerare l'emissione elettronica di un metallo. Infatti, se la velocità media degli elettroni aumenta con la temperatura, anche il flusso elettronico che emana dal conduttore aumenta con questa.

Si può dire allora che questo flusso o *corrente* di elettroni, è dovuto ad una speciale attività termica del corpo che lo emette.

Di qui il nome di *corrente termoionica* [1].

Supponiamo di rendere incandescente una sbarra di metallo: essa emette un numero grandissimo di elettroni e quindi è lecito supporre che la corrente termoionica nello spazio immediatamente vicino, sia molto intensa.

Ciò non si verifica in pratica, per una ragione molto semplice: infatti, perchè un corpo possa emettere elettroni, è necessario che molti dei suoi atomi perdano almeno uno di questi. Ma allora gli stessi (da prima neutri) acquistano una carica positiva (v. fig. 2) ed esercitano un attrazione su gli elettroni emessi, che dopo aver raggiunto punti dello spazio immediatamente vicini al conduttore, vengono da questo totalmente riassorbiti.

In questo modo si raggiunge uno stato di equilibrio, quando cioè un identico numero di elettroni viene *emesso* e *ricuperato* nell'unità di tempo.

Lo spazio percorso dagli elettroni, prima di ritornare al conduttore, è tanto più notevole, quanto più elevata è la temperatura di questo.

Esso è tuttavia molto piccolo, e per le *ordinarie* temperature di incandescenza del platino, tungsteno ecc. raramente superiore al millimetro [2].

Così supposta un ipotetica superficie metallica, la temperatura della quale vada gradualmente crescendo da sinistra a destra, è possibile rappresentare, molto elementarmente, la distribuzione di

(1) In pratica si usa spesso anche il nome di *corrente elettronica*, ma ciò è evidentemente improprio quando si pensi, che *qualunque* corrente elettrica è dovuta a flusso di elettroni.

(2) Questa distanza rappresenta praticamente un massimo per la temperatura *normale* di incandescenza poichè si è notato che ad essa pervengono elettroni in quantità, decine di migliaia di volte minori di quelli che ritornano al conduttore dopo aver percorso distanze inferiori al centesimo di millimetro. Aumentando la temperatura ed accontentandosi di una bassissima percentuale, si possono naturalmente superare distanze più notevoli.

elettroni, con un insieme di punti variamente disposti (fig. 82). Per accorgersi di questa emissione, basta un artificio molto semplice: ripieghiamo infatti il conduttore su sè stesso in modo che l'estremità fredda venga a trovarsi vicinissima a quella incandescente (fig. 83).

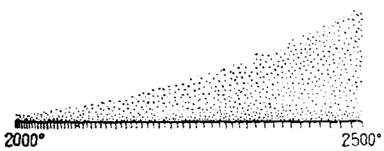


Fig. 82

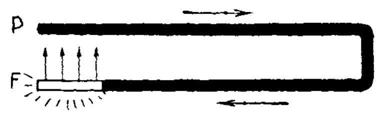


Fig 83.

Un certo numero di elettroni, dotato di velocità molto elevata, ha inerzia sufficiente per attraversare lo spazio *FP*. Ma una volta giunti in *P*, essi ritornano più facilmente in *F*, attraverso il conduttore, anzichè rifare lo stesso cammino, come accade per quelli che non raggiungono *P*.

Essi costituiscono allora una vera e propria corrente elettrica che fluisce attraverso il conduttore, (con intensità tanto più notevole quanto più la temperatura in *F* è elevata e la distanza *FP* ridotta) e che è rivelabile inserendo in un punto qualunque un sensibile galvanometro (fig. 84). Tuttavia anche portando la temperatura di *F* prossima al punto di fusione e pur riducendo di molto la distanza, gli elettroni che riescono ad attraversare lo spazio *FP*, rappresentano una infima percentuale di quelli che ritornano al conduttore, dopo aver percorso distanze molto piccole. Si è pensato allora di neutralizzare in certo qual modo, l'attrazione che il conduttore esercita sugli elettroni che emette.

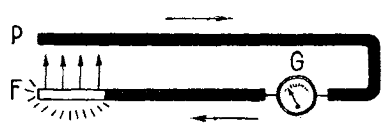


Fig. 84.

Se infatti si porta *P*, ad un potenziale *positivo* rispetto a *F*, si determina una nuova forza attrattiva diretta in senso contrario alla prima, tanto da potere eventualmente preponderare su quella. Allora una parte degli elettroni emessi da *F*, raggiunge direttamente *P* anche se la distanza è relativamente grande e ritorna in *F* attraverso il conduttore, determinando una corrente elettrica di notevole intensità.

Ma perchè *P* sia mantenuto ad un potenziale positivo costante mentre una corrente fluisce fra *F* e *P*, occorre naturalmente una certa forza elettro-motrice.

Ci basta perciò inserire assieme al galvanometro della figura 84 un generatore qualunque (pila p. e.) come alla fig. 85, perchè una corrente continua fluisca indefinitamente nel conduttore.

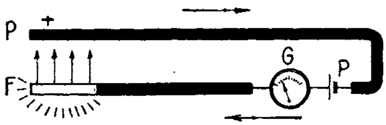


Fig. 85.

Esaminato il fenomeno dell'emissione elettronica da un punto di vista esclusivamente didattico, vediamo ora come praticamente si sono soddisfatte le condizioni che lo determinano.

Appare subito evidente come il più semplice mezzo, per portare un conduttore all'incandescenza, sia quello di utilizzare gli effetti termici della corrente elettrica.

Edison infatti scoperse il fenomeno della emissione (¹), studiando la sua prima lampada elettrica.

Allora è possibile realizzare la superficie emettente *F*, con un filo di platino o tungsteno attraverso il quale si faccia passare una corrente elettrica più o meno intensa a seconda della temperatura desiderata, e mantenendo la disposizione della fig. 85, ci basta applicare fra due punti molto prossimi di *F* una adatta f. e. m. (fig. 86).

Finora non abbiamo pensato al mezzo nel quale la scarica elettronica si verifica; se supponiamo infatti di operare nell'*aria*, essa (scarica) non è così semplice come l'abbiamo da prima considerata, poichè gli elettroni subendo continue collisioni con atomi e molecole, non solo sono ostacolati nel loro cammino, ma riescono anche a liberare altri elettroni dagli atomi coi quali collidono.

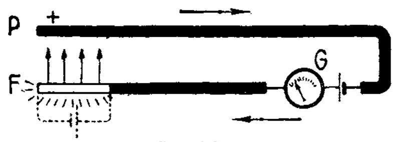


Fig. 86.

Ci si troverebbe quindi in presenza di cariche negative e positive che si moverebbero disordinatamente fra *F* e *P*, così che il trasporto di elettricità non sarebbe più unidirezionale, cioè diretto da *F* a *P*, ma potrebbe avvenire in ambedue le direzioni.

Oltre a questo la superficie *F*, portata ad elevata temperatura, reagirebbe chimicamente con l'ossigeno dell'aria, ossidandosi e bruciando in breve tempo.

Poichè allora è necessario ed indispensabile che la scarica elettronica non si verifichi in un mezzo materiale, non resta che operare nel *vuoto*.

(¹) Detto anche « effetto Edison ».

Praticamente si racchiudono in un ampolla di vetro (A), vuotata nel miglior modo, un *filamento F* ed una *placca P*, che possono essere collegati all'esterno e nel solito modo, a mezzo di un circuito metallico qualsiasi (fig. 87) realizzando così la *lampada elettronica a due elettrodi* o di Fleming.

Questo dispositivo, ci permette di studiare a nostro agio e con molta comodità le caratteristiche della scarica elettronica.

Si nota così innanzi tutto, la grande influenza che su questa esercita la

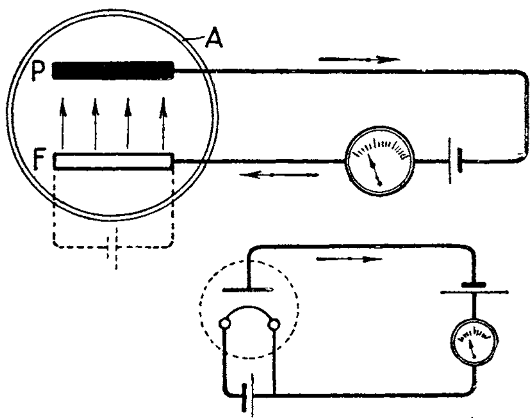


Fig. 87.

qualità della vuotatura dell'ampolla e la natura del filamento incandescente.

Bastano infatti traccie lievissime di ossigeno perchè il sottile strato di ossido che così si forma sul filamento, riduca in modo molto notevole l'emissione totale (2). D'altra parte traccie di ossidi di thorio o di calcio hanno un effetto perfettamente contrario e quindi aumentano di molto la emissione stessa.

La necessità di una buona vuotatura, appare anche evidente quando si pensi che già con una pressione di gas dell'ordine del milionesimo di atmosfera, la scarica elettronica è praticamente impossibile, per gli effetti di ionizzazione che predominano (3).

(1) Riguardo alla riproduzione schematica dei circuiti v. pag. 107.

(2) Si è trovata esperimentalmente una riduzione fino ad 1/250.000.

(3) Un gas si dice *ionizzato* quando ha perduto le sue qualità dielettriche o in altri termini quando gli atomi che lo compongono, sottoposti ad intense forze elettriche, perdono elettroni. In questo caso rimangono allo stato libero dei nuclei o *ioni* con carica positiva che si dirigono verso l'elettrodo a potenziale negativo, in direzione opposta agli elettroni stessi.

Migliorando sempre più il grado di vuoto, si nota che il funzionamento diventa più stabile e regolare, tanto che nelle migliori lampade odierne, l'emissione elettronica può considerarsi praticamente pura.

In questo caso, applicando un potenziale negativo sulla placca, non si nota il passaggio di corrente, poichè la conduttività dell' insieme è perfettamente unilaterale. È possibile portare il potenziale negativo a valori molto elevati (oltre i 150 mila volts per certe lampade) senza che sia rilevabile la più piccola corrente ([1]).

La conduttività unilaterale della lampada di Fleming le ha valso il nome di *valvola,* oggi generalmente usato.

Infatti imprimendo una f. e. m. alternativa fra filamento e placca (fig. 88) la corrente fluisce soltanto quando il potenziale di quest' ultima è positivo o in altre parole durante tutti i semiperiodi positivi.

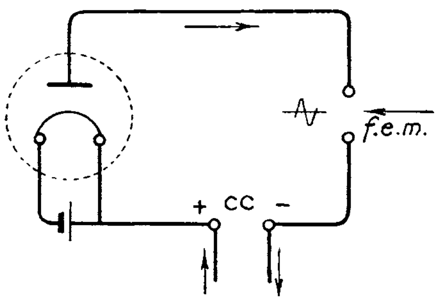


Fig. 88.

La corrente che attraversa il circuito è pulsante unidirezionale e quindi praticamente continua, cioè la lampada adempie appunto funzioni di *rettificatrice* o di valvola.

Nella pratica industriale odierna si usa la lampada a due elettrodi per rettificare correnti di ogni frequenza ed intensità (in modo speciale quando la tensione è molto elevata) e il sistema si presenta perfetto, poichè non possiede organi in moto, è poco voluminoso e permette un rendimento elevato.

Quando la tensione alternativa è molto piccola, la corrente placca filamento è naturalmente esigua, a meno di non usare filamenti eccessivamente grossi. Per ovviare a questo, si è pensato di utilizzare, fino ad un certo punto, la ionizzazione determinata dalla scarica elettronica in un gas inerte, nel quale fossero immmersi gli elettrodi.

Così usando argon o azoto in determinate condizioni di pressione, è possibile ottenere correnti raddrizzate fino a 500 volte maggiori di quelle che determinerebbe la pura scarica elettronica (v. quarta parte).

([1]) Effettivamente in questi casi si notano dei fenomeni secondari di emissione. Così la placca colpita da elettroni dotati di grande velocità può alla sua volta emetterne.

Caratteristiche della lampada Fleming. — Dato il circuito della fig. 89, cerchiamo di studiare il comportamento della lampada *L*, al variare della tensione di placca e della temperatura del filamento.

Supponiamo di mantenere costante quest'ultima, e di crescere gradualmente la tensione, annotando i rispettivi valori della corrente termoionica che attraversa il circuito.

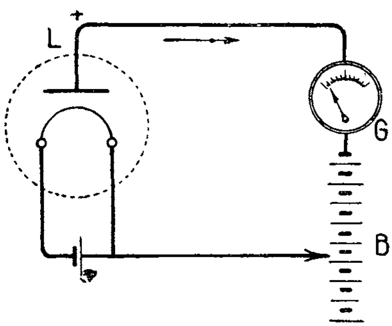


Fig. 89.

Ci si accorge subito, che l'aumento di corrente non è affatto proporzionale all'aumento di tensione, o come si dice comunemente che il rapporto fra f. e. m. e corrente non è *lineare*.

Più precisamente si nota, che mentre la tensione va crescendo, la corrente aumenta molto rapidamente *in un primo tempo*, per raggiungere alfine *con un andamento molto più lento*, un valore massimo, che non supera, nemmeno aumentando indefinitamente la tensione.

Se riportiamo su due assi coordinati i rispettivi valori delle grandezze, otteniamo una curva simile a quella della fig. 90, dalla quale rileviamo appunto, che la corrente, oltre il punto *S*, assume un valore costante.

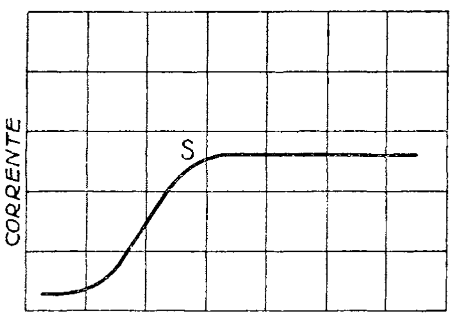


Fig. 90.

Possiamo spiegarci facilmente questo comportamento caratteristico, riferendoci a quanto conosciamo intorno alla scarica elettronica. Ci è noto infatti, che quando il potenziale placca è nullo, anche la corrente nel circuito può considerarsi praticamente nulla, perchè tutti gli elettroni sono ripresi dal filamento prima di potere raggiungere la placca.

Mano mano che la carica positiva di questa aumenta, la quantità di elettroni che ritorna al filamento si fa sempre più piccola, finchè ad un certo momento, *tutti* gli elettroni sono attratti dalla placca.

Ora è evidente, che per quanto si aumenti il potenziale placca, la quantità di elettroni e quindi la corrente, non può essere per nulla aumentata poichè rappresenta già l'emissione totale.

In questo caso si dice che nel circuito fluisce la *corrente di saturazione.*

Il valore della corrente di saturazione, dipende esclusivamente dalla entità dell'emissione elettronica del filamento, e quindi dall'area e dalla temperatura di questo.

Aumentando la quantità di elettroni emessa, occorre una forza attrattiva maggiore, perchè *tutti* questi raggiungano la placca, e nel circuito fluisca

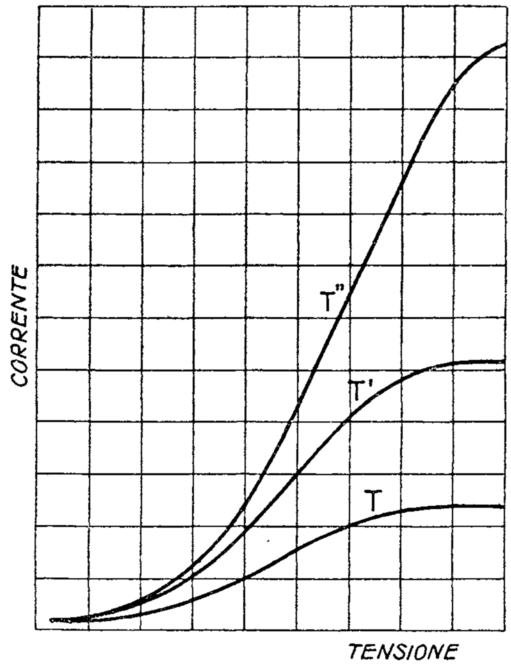


Fig. 91.

ancora una corrente di saturazione; quindi è necessario portare la placca ad un potenziale più elevato.

Così, se si riportano al solito su due assi ortogonali i valori della f. e. m. e della corrente relativi a varie condizioni dell'emissione, si ottengono curve caratteristiche simili a quelle della figura 91 dalle quali risulta che per ottenere nel circuito la corrente di saturazione, la tensione placca non può essere inferiore ad un minimo determinato.

Per comprendere la ragione del caratteristico andamento della corrente al variare della tensione, riferiamoci allo spazio compreso fra placca

e filamento (fig. 92), e consideriamo un elettrone che si trova nelle immediate vicinanze di quest'ultimo. Esso è doppiamente sollecitato a ritornare al filamento, sia perchè questo ha acquistato, emettendolo, una carica positiva, sia perchè il grandissimo numero di elettroni che lo precedono nel cammino verso la placca, esercitano contro di lui (carica omonima) un'azione repulsiva.

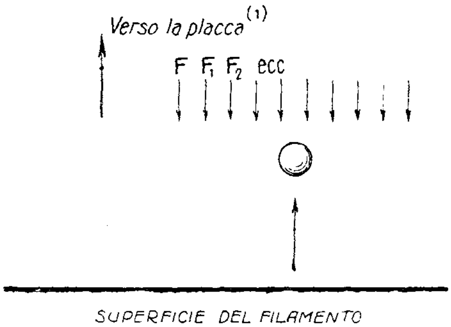


Fig. 92.

Questa azione o forza repulsiva che agisce sull'elettrone, è quindi dovuta all'insieme di tutte le cariche negative, che si trovano nello spazio filamento-placca (F, F_1, ecc.). La carica risultante, dicesi a ragione *carica spaziale.*

Allora l'elettrone è in un primo tempo *ostacolato* nel suo cammino verso la placca da una forza repulsiva massima, dovuta alla carica spaziale che esiste fra i due elettrodi della lampada.

Progredendo verso la placca, l'entità della forza repulsiva diminuisce, sia perchè il numero delle cariche che precedono l'elettrone diventa sempre più piccolo, sia e specialmente, perchè quelle che seguono aumentano sempre più, esercitando su di lui una forza repulsiva che tende a *favorire* il suo movimento.

Ad un certo punto, l'elettrone subisce gli effetti di due cariche spaziali identiche, quindi è sottoposto a repulsioni uguali e contrarie, che naturalmente si annullano.

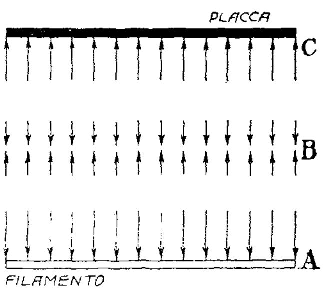


Fig. 93.

Avanzando ancora verso la placca, è la forza favorevole che prepondera sull'altra, fino a raggiungere un'intensità massima nelle immediate vicinanze dell'elettrodo positivo.

Questo caratteristico comportamento della carica spaziale si può rappresentare grossolanamente con freccie che indicano la grandezza e la direzione delle forze che agiscono su l'elettrone, nei tre punti ricordati (fig. 93, *A*, *B*, *C*).

(1) Supponendo una distanza filamento-placca di 1 millimetro, per mantenere la proporzione nel disegno, occorrerebbe disegnare quest'ultima a circa *8 milioni* di chilometri da *F*. Questo può dare un'idea dell'ordine di grandezza dell'elettrone.

Infatti, bastano valori relativamente bassi di questo, per esercitare una attrazione sufficiente sugli elettroni che si trovano più o meno vicini alla placca, poichè in ciò si è favoriti dalla carica spaziale.

Ma tendendo a raggiungere la corrente di saturazione, e quindi a catturare *tutti* gli elettroni emessi, occorre aumentare il potenziale, in modo tanto più notevole quanto più questi si trovanò vicini al filamento, contrastati quindi da una intensa carica spaziale.

Così, per catturare quelli che, in numero relativamente limitato, si trovano *vicinissimi* al filamento, occorre un aumento di potenziale molto grande. Ecco perchè la corrente, nei pressi della saturazione, cresce in modo impercettibile, anche portando la tensione ai valori più elevati.

Mantenendo fisso il potenziale di placca, ed aumentando gradualmente la temperatura del filamento, si raggiungono ancora condizioni di saturazione che si possono esprimere con curve simili a quelle della fig. 94 ri)ferite ai potenziali *A*, *B*, *C*). Considerando, per esempio, la prima di queste (*A*), si nota come aumentando anche grandemente l'emissione del filamento, la corrente placca non accenni per nulla ad aumentare.

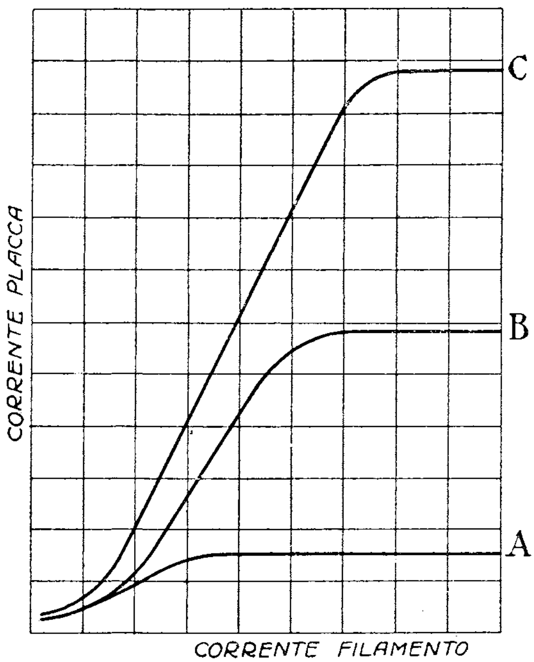


Fig. 94.

Questo ci dimostra, che la carica positiva impressa sulla placca, è così esigua, da essere più che neutralizzata dalla sarica spaziale che agisce culla grande massa degli elettroni che si trova vicinissima al filamento.

In queste condizioni quasi tutti gli elettroni vengono ripresi dal filamento, e soltanto quelli che possedendo una estrema velocità, riescono, senza subire un numero eccessivo di collisioni, a staccarsi dalla grande massa, possono di poi raggiungere la placca, favoriti dalla forza repulsiva, esercitata dalla carica spaziale e dalla debole attrazione dovuta alla carica dell' elettrodo positivo.

Rettificazione di correnti AF. — È possibile sfruttare la conduttività unilaterale della lampada a due elettrodi, per rettificare correnti di frequenza radio elettrica, e costituire quindi un complesso rivelatore (fig. 95) analogo a quello che utilizza l' effetto raddrizzatore di un cristallo (v. 2° capitolo).

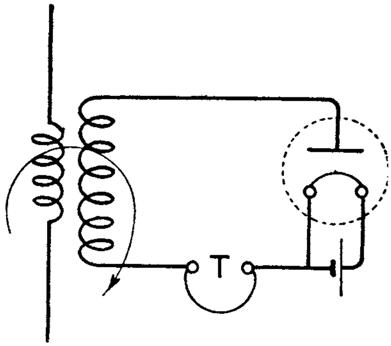


Fig. 95.

Ma considerando la corrente termoionica in relazione alla tensione placca (curva della fig. 91) ci accorgiamo che la conduttività dello spazio filamento placca, varia al variare della tensione o in altre parole che essa *non segue la legge di Ohm.*

Infatti, esiste un tratto centrale della curva (*BC* della fig. 96), per il quale a piccole variazioni del potenziale, corrispondono grandi aumenti della corrente (tanto più notevoli quanto più ripida è la curva), mentre succede il contrario per i due tratti adiacenti (*AB* e *CD*).

Nel nostro caso, perchè l' udibilità dei segnali sia massima, è necessario utilizzare le qualità del tratto *BC*, così che a variazioni molto piccole della tensione alternativa impressa, corrispondano grandi variazioni della corrente che attraversa il telefono.

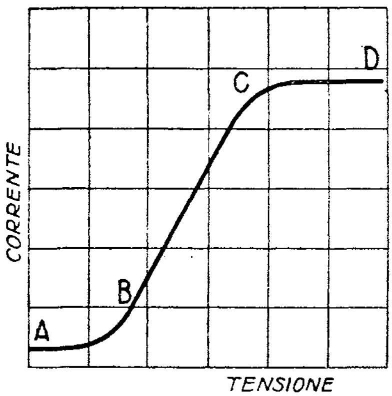


Fig 96.

In pratica si usa imprimere sulla placca, un potenziale continuo, regolabile, tanto da poter raggiungere le condizioni migliori.

Allora una f. e. m. alternativa applicata sulla placca, si aggiunge e si sottrae continuamente alla f. e. m. continua già impressa, determinando aumenti e diminuzioni della corrente termoionica.

Supponendo che la lampada si trovi a funzionare nel tratto *BC* della sua curva caratteristica, si ottengono variazioni molto notevoli della corrente che attraversa il circuito, ma poichè ad una variazione in un senso ne corrisponde immediatamente una, uguale o quasi uguale, in senso contrario, l' udibilità dei segnali è nulla, o quasi nulla.

Ci si porta allora a funzionare in uno dei punti di flesso o *ginocchi*

della curva, per esempio in *B*, così che per i semiperiodi che si *sommano* alla f. e. m. continua della placca, si abbia a sfruttare con vantaggio il tratto *BC* e quindi ad ottenere un notevole *aumento* di corrente, mentre per i semiperiodi che si *sottraggono* ci si trovi nel tratto curvo *AB*, tanto che la diminuzione di corrente sia *estremamente ridotta*.

In questo modo, quando una f. e. m. alternativa è impressa sulla placca, si ottiene un aumento notevole della corrente continua che attraversa il telefono, e quindi anche una notevole udibilità dei segnali.

Portandosi invece nell'altro punto di flesso della caratteristica (*C*) si avrebbe una *riduzione* di corrente per semiperiodi che si *sottraggono* alla f. e. m. continua della placca, ed un *aumento* insignificante per quelli che si *sommano*, così che ad una f. e. m. alternativa impressa, corrisponderebbe una notevole diminuzione della corrente che attraversa il telefono, e quindi ancora una notevole udibilità dei segnali.

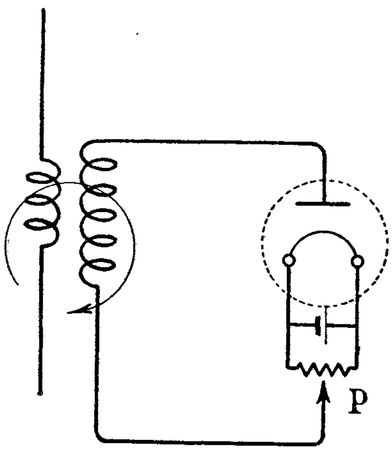


Fig. 97.

Praticamente ci si porta a funzionare nel miglior punto della caratteristica realizzando un circuito simile a quello della figura 97, dove a mezzo di un cursore *C* e di un conduttore *P* (potenziometro), lungo il quale esiste una uniforme caduta di potenziale, si trova la f. e. m. più adatta da imprimere sulla placca.

Il terzo elettrodo. — L'entità del flusso o corrente termoionica nella lampada a due elettrodi, dipende dal valore della carica spaziale che esiste fra questi. Così se fosse possibile neutralizzare o esaltare questa carica, si avrebbero aumenti o diminuzioni nella corrente, che attraversa il circuito. Abbiamo infatti notato come ciò poteva ottenersi in pratica, variando entro certi limiti la tensione applicata sulla placca o la temperatura del filamento.

Esiste però un altro mezzo che permette di ottenere con facilità una variazione del valore della carica spaziale. Esso sfrutta un nuovo elettrodo (*griglia*) interposto fra placca e filamento, il potenziale del quale possa venire comunque variato.

Con questo artificio è possibile aggiungere alla forza attrattiva che la placca esercita sugli elettroni, una nuova forza che può essere concordante o

discordante con quella, così da poterla esaltare o addirittura neutralizzare, rendendo quindi trascurabili o preponderanti gli effetti della carica spaziale.

La nuova lampada fu chiamata dal suo inventore (De Forest) *audion*, ma è anche riconosciuta in pratica come lampada o valvola *a tre elettrodi*, *triodo*, ecc.

Si è convenuto di chiamare zero il potenziale di un estremo del filamento, e di considerare rispetto a questo estremo, i potenziali impressi sulla placca e sulla griglia.

Se si imprime sulla griglia una carica positiva, gli effetti della carica spaziale (carica negativa) sono più o meno neutralizzati, tanto che un maggior numero di elettroni può raggiungere la placca: più precisamente si ha aumento di questi, finchè il loro numero determina una nuova carica spaziale, sufficiente a neutralizzare la carica di griglia.

Se invece si imprime sulla griglia una carica negativa, gli effetti di questa concordano con quelli della carica spaziale, così che la corrente placca diminuisce e può anche annullarsi, quando tutti gli elettroni sono respinti al filamento.

Si può avere una migliore idea del comportamento della griglia, riferendoci alla distribuzione del potenziale fra gli elettrodi della lampada. Poichè lo spazio fra questi interposto, può considerarsi conduttore, esiste naturalmente una caduta di potenziale fra placca e filamento; ora per il caratteristico comportamento della lampada stessa, questa caduta non è uniforme, così che volendo esprimerla graficamente in funzione della distanza, otterremo una curva simile a quella della fig. 98 *A*, anzichè una retta come nel caso di un conduttore normale.

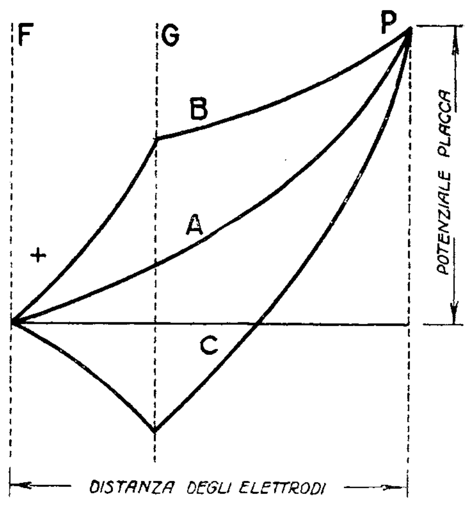


Fig. 98.

Da questa curva appare evidente che il potenziale che agisce nei punti prossimi al filamento è molto ridotto rispetto a quello applicato sulla placca. Ora, se nel punto *G* si introduce un terzo elettrodo o griglia, caricato positivamente, la curva si modifica, poichè la differenza di potenziale fra griglia e filamento diventa maggiore, così che la forza che agisce su gli elettroni è molto più notevole (curva *B*).

Inversamente un potenziale negativo sulla griglia, rendendo ancor minore la differenza di potenziale pei punti prossimi al filamento, fa sì

che la forza che agisce su gli elettroni diminuisce o addirittura cambia di direzione (curva *C*).

Per queste ragioni le modalità costruttive della lampada, le dimensioni e la distanza degli elettrodi ecc. influiscono in modo apprezzabile sulle sue caratteristiche.

Così, per esempio, si è trovato conveniente formare la griglia con una spirale di filo molto sottile che circondi completamente il filamento, tanto da esercitare un'azione di controllo su tutti gli elettroni emessi.

Caratteristiche ed applicazioni della lampada a tre elettrodi. — La fig. 99 rappresenta il circuito fondamentale della lampada a tre elettrodi. Esso serve semplicemente a portare placca e griglia a potenziali determinati rispetto al filamento, così che più propriamente può considerarsi formato da un *circuito di placca* e da un *circuito di griglia*, se si esclude il *circuito d'accensione* (punteggiato in figura) necessario naturalmente a riscaldare il filamento.

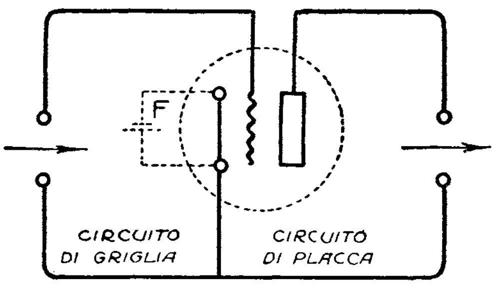


Fig. 99.

Dall'insieme dei collegamenti, appare evidente che il triodo può avere principalmente funzioni di *relay* o *soccorritore*, poichè il potenziale impresso sulla griglia, ha un'azione di controllo sulla corrente di placca, la quale essendo fornita localmente può raggiungere valori molto elevati.

Nel caso finora supposto, che cioè la griglia esercitasse una pura azione di controllo (senza quindi attirare elettroni) la *potenza* consumata nel suo circuito sarebbe nulla e quindi anche per i più piccoli valori della corrente di placca si avrebbe una infinita amplificazione di potenza nel circuito di questa.

Praticamente però il circuito di griglia è percorso da una corrente che pur rappresentando una parte infima di quella di placca, non è affatto trascurabile. Infatti un elettrone (*e*) passando attraverso le maglie della griglia (fig. 100) caricata positivamente, è sottoposto alla forza di attrazione di questa, oltre a quella della placca. Poichè quest'ultima è generalmente predominante, l'elettrone continua il suo cammino, ma quando esso passa estremamente vicino alla griglia (*e'*) l'attrazione di questa predomina e l'elettrone viene catturato. Lo stesso accade evidentemente per gli elettroni che cozzano addirittura contro le maglie della griglia (*e''*).

Gli elettroni catturati dalla griglia costituiscono una corrente nel circuito di questa, che può raggiungere valori anche notevoli. D' altra parte, la griglia caricata negativamente può catturare soltanto gli elettroni che, dotati di grandissima velocità, riescono a vincere la sua azione repulsiva: in questo caso la corrente nel circuito di griglia è molto ridotta.

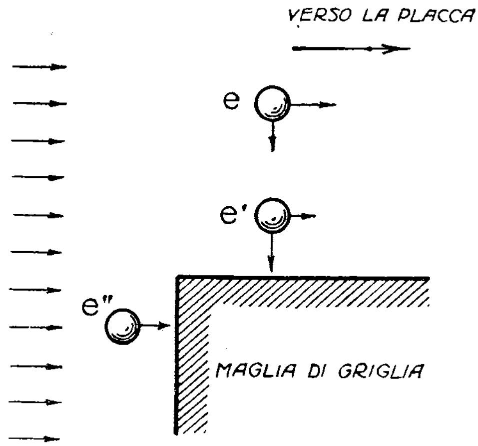


Fig. 100.

Ora, poichè la potenza consumata nel circuito griglia, dipende naturalmente dalla corrente che in esso fluisce, l'amplificazione di potenza è tanto maggiore quanto minore è questa corrente, così che conviene generalmente imprimere sulla griglia potenziali negativi o comunque molto prossimi allo zero.

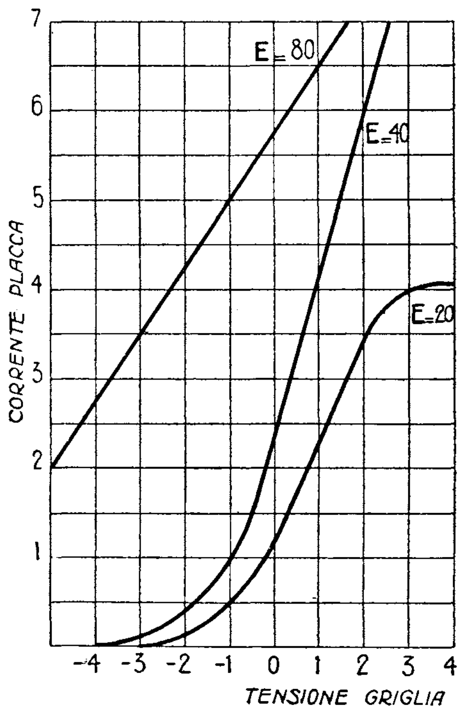


Fig. 101.

In questo modo è possibile controllare nel circuito placca potenze maggiori (fino a migliaia di volte) di quelle dissipate nel circuito griglia, così che il triodo può ben dirsi adempiere funzioni di *amplificatore*.

Imprimendo sulla griglia una f. e. m. comunque variabile, si può ottenere nel circuito placca una corrente amplificata variabile alla stessa guisa.

Supponendo che il circuito placca possa oscillare con una determinata frequenza (valori adatti dell' induttanza e della capacità v. pag. 28); si ottiene in esso per ogni impulso impresso sul circuito griglia, un impulso amplificato e quindi una cor-

rente oscillante più o meno smorzata a seconda della natura del circuito (v. pag. 56).

Ora, se si dispongono le cose in modo che una parte di questa energia oscillante « ritorni » al circuito griglia, esso viene nuovamente eccitato così che un altro impulso raggiunge il circuito placca, ponendolo di nuovo in oscillazione. Poichè la frequenza degli impulsi risulta allora uguale a quella propria di oscillazione del circuito, la corrente alternativa che ha sede in esso, acquista una ampiezza costante, che mantiene indefinitamente (oscillazione persistente).

In questo caso il triodo adempie funzioni di *oscillatore.*

La **terza** importante funzione del triodo è quella di *rettificatore* di correnti alternative.

Tanto questa che le altre qualità, possono meglio essere comprese, quando ci si riferisca alle curve caratteristiche dell'**audion**, analogamente a quanto si fece per la lampada a due elettrodi.

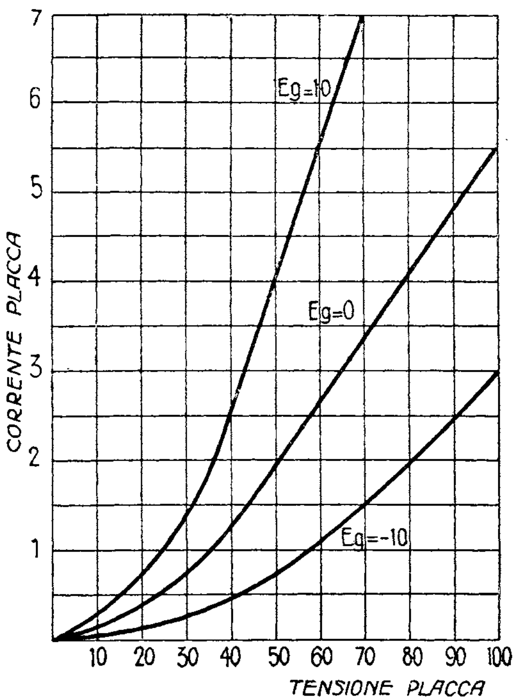


Fig. 102.

Esse possono essere numerose ed illustrano graficamente e con molta evidenza qualunque condizione di funzionamento.

Limitandoci alle principali, possiamo considerare quelle che si riferiscono alla variazione della corrente di placca e di griglia, per rispettive variazioni dei potenziali.

Così nella fig. 101 si osserva l'andamento della corrente placca quando il potenziale di griglia viene variato e quando il potenziale placca rimane costante (20, 40, 80 volts) e si ritrova una certa analogia con le curve relative alla lampada a due elettrodi.

La fig. 102 fa vedere come mantenendo fisso il potenziale di griglia, vari la corrente di placca al variare della rispettiva tensione e come

l'andamento sia differente portando la griglia da potenziali negativi a potenziali positivi rispetto al filamento (10, 0, -10 volts).

La fig. 103 rappresenta senza dubbio una delle curve più importanti: essa dimostra infatti, come per valori gradualmente crescenti della tensione placca (*A*, *B*, *C*, *D*, *E*) si ottenga uno spostamento delle curve verso i valori negativi del potenziale di griglia o in altre parole, come sia necessario

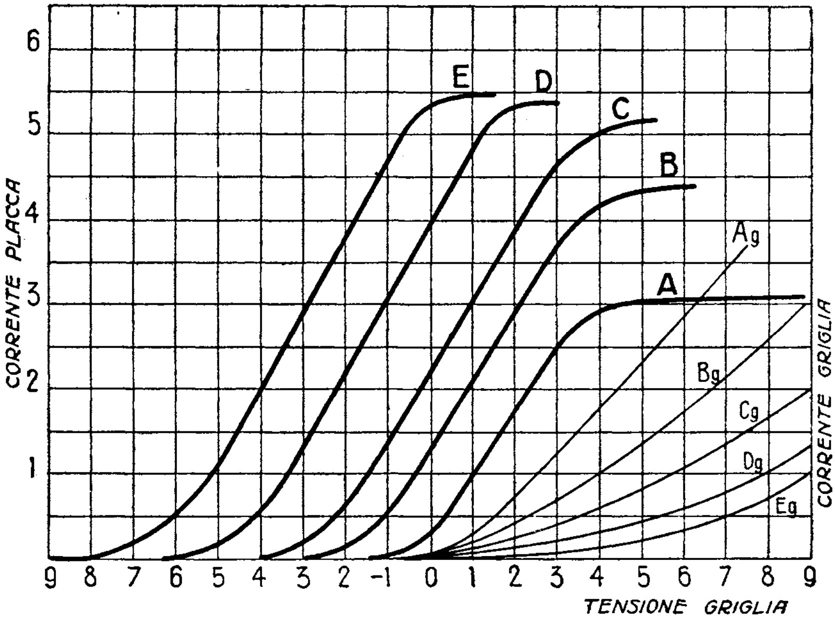


Fig. 103.

imprimere sulla griglia potenziali tanto più negativi, quanto più elevata è la tensione di placca, per mantenere il funzionamento negli stessi punti della curva caratteristica.

Le curve relative alla corrente di griglia, riportate nello stesso grafico, dimostrano come varia l'andamento di questa, al variare della tensione placca (curve *Ag*, *Bg*, *Cg*, *Dg*, *Eg*, relative alle *A*, *B*, *C*, *D*, *E*).

Così si nota come per tensioni placca relativamente basse, le correnti di placca e di griglia sono pressochè identiche (curve *A* ed *Ag*) e come col crescere della tensione, la corrente di griglia vada diminuendo (poichè la forza di attrazione esercitata dalla griglia diventa trascurabile al confronto di quella esercitata dalla placca) così che per tensioni molto elevate essa può considerarsi formata soltanto dagli elettroni che cozzano contro le maglie dell'elettrodo di controllo.

Anche variando l' emissione elettronica e quindi la temperatura del filamento, è possibile entro certi limiti portare il triodo a funzionare in punti determinati della caratteristica. La fig. 104 mostra infatti come mantenendo costante la tensione placca (*Ep*) vari l'andamento della corrente in relazione alla temperatura del filamento e alla tensione griglia.

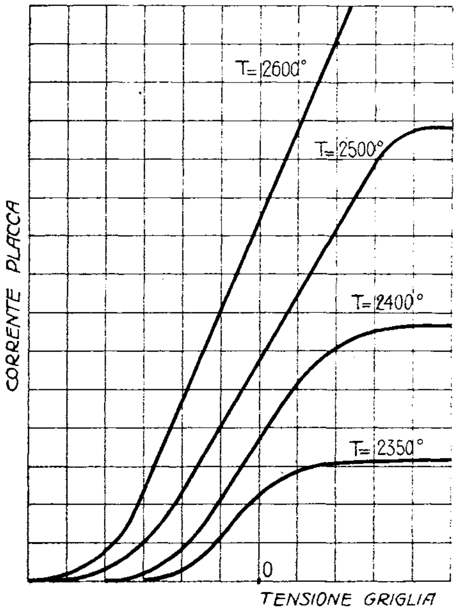


Fig. 104.

Come immediata conseguenza della precedente sommaria esposizione, è possibile dedurre, che la lampada a tre elettrodi può essere portata a funzionare in qualunque punto della sua caratteristica, variandone la *tensione di griglia*, o la *tensione di placca* o la *temperatura del filamento*, e che per valori costanti di queste grandezze, si notano variazioni nell'andamento delle caratteristiche, in relazione al tipo e alla costruzione del triodo stesso (dimensioni e distanza degli elettrodi, tipo di griglia, grado di vuoto ecc.).

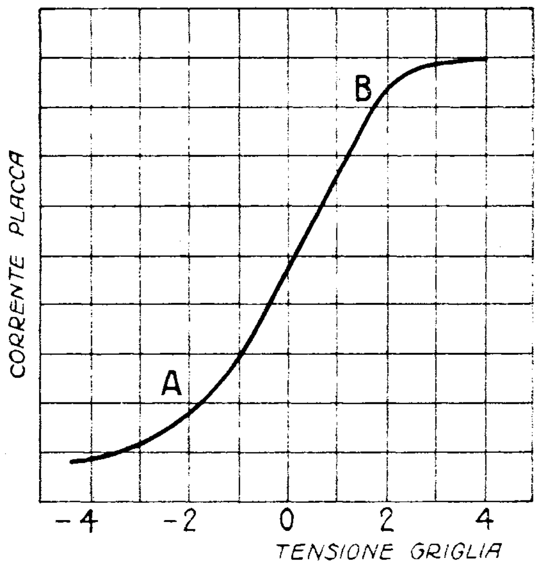


Fig. 105.

Il triodo raddrizzatore. — Qualunque sia la lampada usata, l' andamento della sua caratteristica può tipicamente rappresentarsi con la curva della fig. 105 nella quale la corrente di placca comincia a crescere lentamente in un primo tempo (tratto curvo o ginocchio inferiore), quindi ha un aumento

molto rapido (tratto rettilineo) per decrescere lentamente di nuovo (ginocchio superiore). Questo andamento è perfettamente analogo a quello che presentava la lampada a due elettrodi al variare della tensione placca.

È evidente allora che anche il triodo può essere usato come rettificatore.

Portiamoci infatti a funzionare in un punto dove l'andamento della curva è fortemente asimetrico (per esempio in *A*) ed imprimiamo una f. e. m. alternativa sulla griglia.

Questa produce aumenti e diminuzioni del potenziale medio di gri-

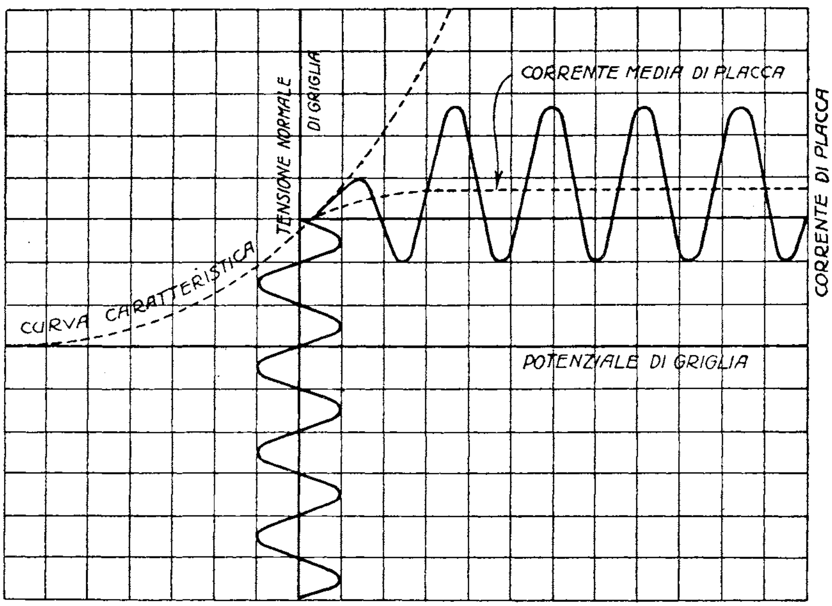


Fig. 106.

glia che determinano una moltiplicata variazione della corrente di placca; ma mentre un aumento del potenziale di griglia produce un grande aumento di corrente placca, ad una diminuzione di quello non corrisponde che una mediocre diminuzione di questa, tanto più trascurabile quanto più ripido è l'andamento della caratteristica.

Allora, come nel caso della lampada Fleming, la corrente che attraversa il circuito placca viene ad essere aumentata, rivelando così la presenza della corrente alternativa nel circuito griglia.

Questo andamento può rappresentarsi graficamente con la fig. 106 quando si supponga di operare nel punto *A* della caratteristica e di imprimere sulla griglia una f. e. m. alternativa sinusoidale di ampiezza costante.

Il triodo operato in questo modo compie funzioni perfettamente analoghe a quelle di un cristallo raddrizzatore, quindi se si usa un telefono come rivelatore delle variazioni della corrente placca, il funzionamento è possibile soltanto, quando la corrente ad alta frequenza impressa sulla griglia, è interrotta a frequenza udibile (emissione smorzata o comunque modulata v. pag. 67).

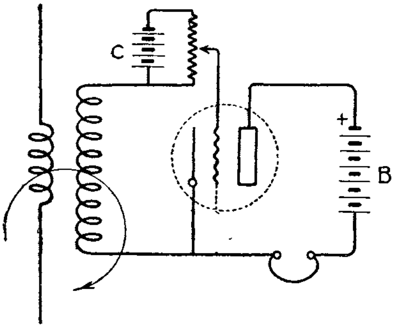


Fig. 107.

Un rivelatore di questo genere si realizza in pratica con un circuito simile a quello della fig. 107, nel quale la batteria *C* (batteria di griglia) serve a mantenere la griglia ad un determinato potenziale, analogamente a quanto la batteria *B* (batteria anodica) fa per la placca, fino a raggiungere le migliori condizioni di funzionamento.

Un altro metodo molto semplice e diffuso per fare funzionare la lampada come rivelatrice, utilizza la curva caratteristica della corrente di griglia anzichè quella della corrente di placca. Ci è già noto che l'andamento di questa dipende tanto dal potenziale di griglia che da quello di placca (fig. 103) e può tipicamente rappresentarsi con una curva simile a quella della fig. 108.

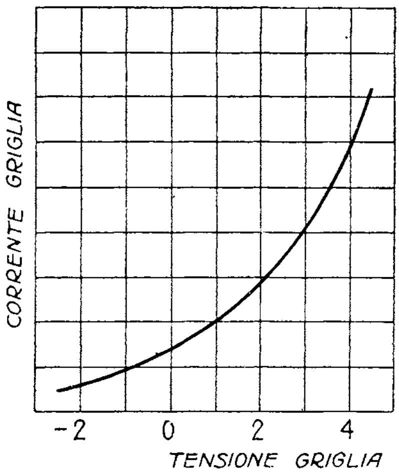


Fig. 108.

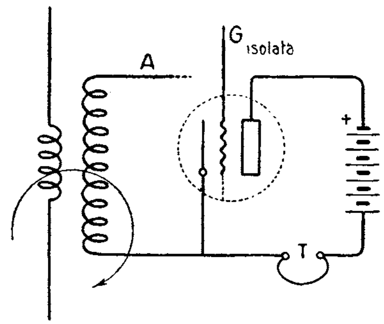


Fig. 109.

Supponiamo ora, riferendoci al circuito della fig. 107, di togliere la batteria *C* e di lasciare quindi *isolata* la griglia della lampada (fig. 109) (1).

(1) L'isolamento assoluto della griglia è tuttavia impossibile in pratica poichè la vuotatura della lampada non potendo essere perfetta, esiste sempre una certa conduttività interna fra

Se, quando la lampada si pone in funzionamento, G ed F hanno lo stesso potenziale, zero per esempio, vediamo dalla curva caratteristica della corrente (fig. 108) che deve esistere un certo flusso di elettroni verso la griglia.

Ora, poichè questa è isolata, gli elettroni non possono già fluire al filamento, ma restano sull' elettrodo, imprimendogli una carica negativa, che va gradualmente crescendo col tempo.

L' immediato effetto di questa carica negativa è di diminuire la corrente di placca; infatti se l' isolamento della griglia è dei migliori, essa (carica) può raggiungere valori così elevati da annullare la corrente stessa.

In questi casi, si diminuisce artificialmente l' isolamento della griglia, inserendo fra questa e il filamento una resistenza molto elevata, così che il potenziale di griglia possa essere mantenuto a un livello costante, tanto da permettere il passaggio di una determinata corrente di placca [1].

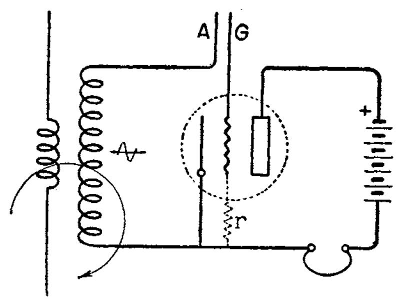


Fig. 110.

Supponiamo ora di imprimere sulla griglia, senza compromettere il suo isolamento e cioè utilizzando un accoppiamento indiretto (per es. avvicinando a G l'estremo A, fig. 110), una f. e. m. alternativa. La variazione di questa fra massimi positivi e negativi, determina aumenti e diminuzioni del potenziale medio di griglia, ma per il caratteristico andamento della corrente (fig. 108) l' aumento del flusso di elettroni verso la griglia è molto più notevole, di quanto non sia la diminuzione (analogamente a quanto accade usando la caratteristica di placca) così che il potenziale medio di griglia, (quando su questa agisce una f. e. m. alternativa) risulta più negativo.

La corrente di placca, subisce allora una diminuzione, che dura finchè la f. e. m. alternativa è applicata, diminuzione capace di essere rivelata da un telefono [2].

Questo sistema può dunque adempiere funzioni di raddrizzatore come quello della fig. 107, ma mentre allora si poteva ottenere la rivelazione tanto per aumenti che per diminuzioni della corrente placca

griglia e filamento. Quando però la resistenza dello spazio griglia-filamento è superiore ai 50 megaohm la griglia può praticamente considerarsi isolata.

(1) Questa resistenza può con molta anologia paragonarsi allo *scarico* di un serbatoio.

(2) Anche in questo caso è naturalmente necessario che la f. e. m. alternativa impressa, sia smorzata o comunque modulata, affinchè il telefono possa rendere una nota udibile.

(ginocchio inferiore o superiore della caratteristica) ciò si verifica ora soltanto per diminuzione di questa, e mai per aumenti.

L'accoppiamento fra A e G può in pratica effettuarsi col semplice avvicinamento dei due conduttori quando la frequenza è estremamente elevata, ma per le frequenze radioelettriche usuali, affinchè l'accoppiamento capacitativo sia bastevole, si inserisce fra i punti A e G, un vero e proprio condensatore di capacità appena sufficiente a permettere il libero passaggio della corrente oscillante.

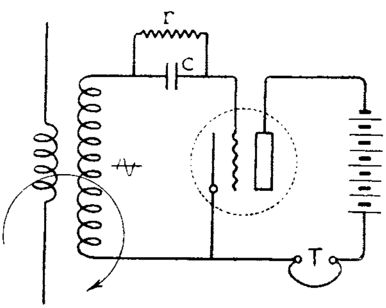


Fig. 111.

La principale caratteristica cui deve soddisfare questo condensatore, è quella di avere le armature perfettamente isolate fra loro, per potere poi raggiungere le migliori condizioni di funzionamento, variando la resistenza r. Questa viene molto spesso inserita in parallelo al condensatore anzichè collegata direttamente al filamento, quindi il nome di « sistema del condensatore shuntato ». In definitiva l'insieme dei collegamenti acquista la forma schematica della fig. 111.

Il triodo amplificatore e oscillatore. — Sappiamo che la variazione della corrente anodica al variare del potenziale di griglia, dipende dalla caratteristica di placca della lampada usata.

Ora, se si inserisce fra griglia e filamento un generatore di f. e. m. alternativa (fig. 112) il potenziale medio di griglia varia d'accordo con questa e determina delle variazioni nella corrente anodica, dipendenti appunto dalla caratteristica di placca.

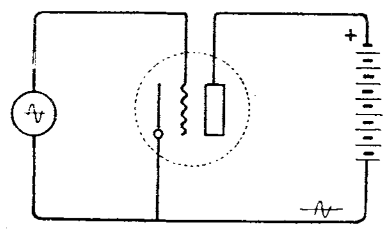


Fig. 112.

Se si fa in modo, (regolando opportunamente il potenziale medio di griglia e l'ampiezza della f. e. m. alternativa) che la variazione della corrente di placca si mantenga nel tratto rettilineo della caratteristica (AB della fig. 105), e se il vuoto della lampada è molto spinto, la corrente nel circuito di placca, varia in modo perfettamente analogo a quella nel circuito di griglia, e le due variazioni risultano in fase.

Si può dire più propriamente che alla corrente continua di placca, si sovrappone una componente alternata di ampiezza tanto più note-

vole, quanto più ripido è l'andamento del tratto rettilineo della caratteristica.

Abbiamo già veduto come ciò possa riuscire utile in pratica, poichè permette di ottenere una grande amplificazione di potenza, specialmente quando si riduce a valori molto piccoli, la corrente che percorre il circuito di griglia. Se si fa il rapporto fra la potenza dissipata nel circuito griglia, e quella ottenuta nel circuito placca, si ha un dato relativo alle qualità amplificatrici della lampada che viene detto comunemente *coefficiente di amplificazione di potenza* e può raggiungere valori notevoli.

Ma un'importanza molto più grande ha in pratica un altro coefficiente, che si riferisce alla amplificazione di potenziale a mezzo del triodo. Infatti da quanto si è detto, appare chiaramente che la quantità fisica che maggiormente influisce sulle caratteristiche della lampada è il *potenziale.* Ora se si fa il rapporto, fra la variazione del potenziale di griglia e la variazione del potenziale di placca, necessarie a determinare la stessa variazione della corrente anodica, si ottiene un dato relativo alla efficacia rispettiva di queste due variazioni, detto appunto *coefficiente di amplificazione di potenziale* o semplicemente *coefficiente di amplificazione* (1).

Questo dato si può ritenere costante per ogni determinato triodo e dipendente soltanto dalle particolarità costruttive di questo, se pur allontanandosi dalle condizioni normali di funzionamento, si abbiano spesso a notare variazioni non indifferenti (2).

Poichè si è parlato di variazione del potenziale di placca, occorre ricordare come questa avvenga a cagione della variazione della *resistenza del circuito anodico*, determinata dalle variazioni del potenziale di griglia. Per valori costanti di questo, e quando il circuito è percorso da una corrente continua, il valore della resistenza si ottiene facendo il rapporto fra la f. e. m. e la corrente anodica (3).

Questo valore è un dato importante e molto utile in pratica, e ad esso ci riferiremo spesso, studiandone meglio le caratteristiche.

(1) Così per esempio se si ottiene nel circuito placca un aumento determinato di corrente sia variando il potenziale di griglia di *2* unità, sia variando quello di placca di *20* unità si dice che il coefficiente di amplificazione della lampada è 10 (20/2).

(2) Per differenti tipi di triodi del commercio si trovano valori del coefficiente di amplificazione compresi fra 2 e oltre 150.

(3) Il termine resistenza è in verità improprio poichè la corrente anodica sulla quale agiscono contemporaneamente i potenziali di griglia e di placca, può alle volte riuscire sfasata rispetto alla tensione così che la resistenza del circuito diventa in parte apparente e quindi impedenza. Supponendo tuttavia di mantenere fisso il potenziale di griglia è possibile parlare di vera e propria resistenza.

Così supponendo che una variazione di potenziale di 10 volts determini una variazione di corrente di un milliampere, la resistenza risulterebbe di 10 mila ohms (10/0,001).

Abbiamo detto che il triodo può amplificare a spese di una sorgente locale di energia elettrica, una f. e. m. alternativa impressa sulla sua griglia; ma considerando l'essenza della corrente placca, si comprende che essa non è affatto una corrente alternativa, ma bensì una corrente unidirezionale, variabile fra lo zero e un massimo positivo, con la stessa frequenza della f. e. m. impressa.

Inviando però questa corrente pulsante nel primario di un trasformatore (fig. 113) si ottiene nel secondario di questo una f. e. m. alternativa indotta che, usando particolari precauzioni, può avere le identiche caratteristiche di quella di griglia (eccettuando naturalmente la aumentata ampiezza) così da potere essere impressa sulla griglia di un secondo triodo e quindi di un terzo e così via, tanto da raggiungere una notevolissima amplificazione. A ciò provvedono infatti i complessi amplificatori della pratica, ai quali è riservata una trattazione più diffusa nella seconda parte.

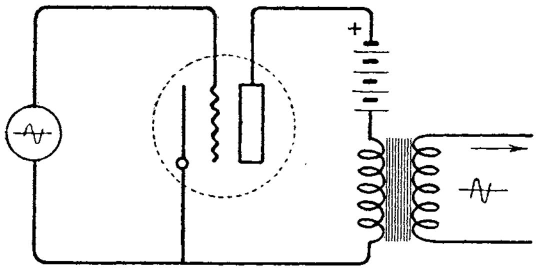


Fig. 113.

Un sistema di amplificazione originale ed interessante, si ottiene imprimendo il potenziale alternativo di placca sulla griglia della *stessa* lampada anzichè sulla griglia di una successiva.

In questo modo infatti, il potenziale alternativo che agisce sulla griglia, viene ad essere continuamente esaltato, tanto da determinare un'amplificazione sempre maggiore che raggiungerebbe l'infinito se non esistessero perdite nel circuito.

Questo sistema, diffusissimo in pratica, è chiamato « *a reazione* » appunto perchè può dirsi dovuto ad una forma di reazione, fra il circuito di placca e quello di griglia.

In pratica ciò si ottiene molto facilmente, inserendo il secondario del trasformatore nel circuito griglia e mantenendo il primario nel circuito placca. Accoppiando poi gradualmente i due circuiti (fig. 114) si raggiunge il punto per il quale l'amplificazione è massima.

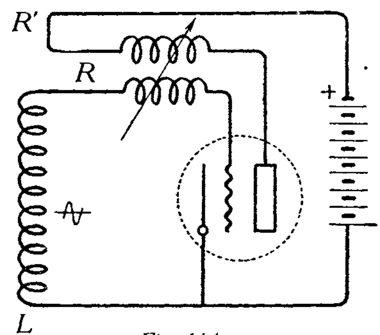


Fig. 114.

Occorre notare però che il senso dei due avvolgimenti, deve essere tale che le due f. e. m. che si sovrappongono nel circuito di griglia, risultino concordi, tanto da sommarsi a vicenda, poichè nel caso contrario, si avrebbe naturalmente una diminuzione della f. e. m. di griglia e quindi dell'amplificazione. Occorre perciò che R ed R' siano avvolti *in senso contrario.*

Se supponiamo ora di aumentare sempre più l'accoppiamento di R ed R' (sia avvicinandoli, sia aumentando il numero delle loro spire, v. pag. 17) e se il circuito LR ha capacità, induttanza e resistenza tali, da poter essere sede di oscillazioni, la f. e. m. alternativa che perviene dal circuito di placca, riesce, non solo a mantenere continuamente oscillazioni in esso, ma anche ad aumentare sempre più l'ampiezza di queste, fino a raggiungere un limite determinato dalle caratteristiche della lampada e del circuito.

Questa proprietà si utilizza in pratica nella costruzione di oscillatori a triodi, i quali tutti sfruttano il potere amplificatore della lampada per riportare sul circuito griglia una parte dell'energia placca, tanto da mantenere indefinitamente l'oscillazione (v. 4ª parte).

Rivelazione con audion oscillante. — Accennando alla rivelazione di correnti ad alta frequenza, abbiamo finora supposto che queste siano interrotte a frequenza udibile per poter far vibrare la lamina telefonica. Così quando l'ampiezza era costante, (emissione persistente), abbiamo immaginato di interrompere a frequenza udibile la corrente raddrizzata (fig. 79).

La possibilità della lampada a tre elettrodi di mantenere oscillazioni in un circuito, ci fornisce un sistema molto più pratico per rivelare correnti alternate persistenti, sistema cui abbiamo già accennato riferendoci ai fenomeni dell'interferenza (v. pag. 42).

Si disse infatti che due vibrazioni, sovrapponendosi in determinate condizioni, potevano dar luogo ad un sistema di onde stazionarie, se la loro frequenza era identica, e a dei *battimenti,* quando esisteva una differenza fra le due frequenze.

Sia allora nel nostro caso, necessario rivelare una corrente alternativa di frequenza n. Se a mezzo di un triodo oscillatore, è possibile produrre localmente una corrente alternativa di frequenza $n + m$, che possa interferire con la prima, si ottiene naturalmente una oscillazione risultante, di ampiezza variabile, e cioè massima, quando le componenti sono in fase, e minima, quando esse sono in opposizione (180°).

Poichè i punti di massimo o battimenti, equivalgono ad m (differenza

fra le due frequenze) è sempre possibile far sì, che il numero di questi sia piccolo a piacere e quindi, udibile.

Il fenomeno si può rappresentare graficamente con la fig. 115 dove il tratto marcato indica la corrente risultante dalla sovrapposizione della corrente in arrivo (c) e di quella locale (c'),

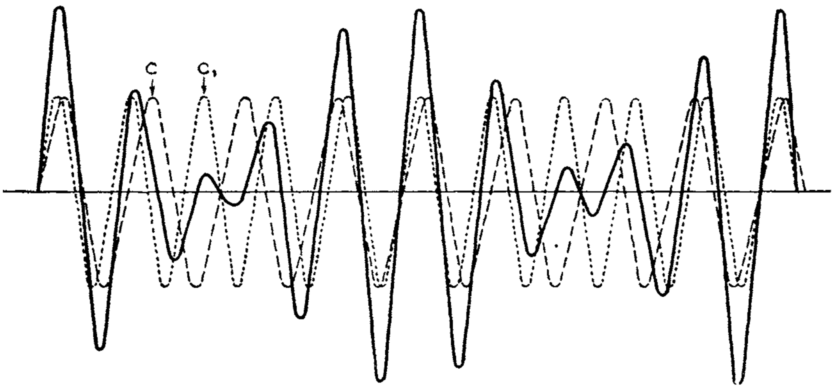


Fig. 115.

Il generatore locale di oscillazioni prende in pratica il nome di *eterodina* e quindi il sistema si dice *ad eterodina.*

Ma l'uso dell' « *effetto reazione* », or ora ricordato, ha fornito un ulteriore semplificazione, permettendo cioè allo stesso audion, di adempiere ad un tempo funzioni di rettificatore e di oscillatore o eterodina.

Per ottenere questo, si usa uno dei soliti circuiti a reazione (fig. 116) e si aumenta l'energia che ritorna sulla griglia fintanto che il circuito si mantiene in oscillazione.

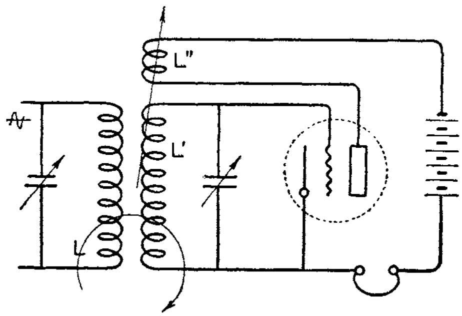


Fig. 116.

Se la frequenza di L' differisce di quella L di qualche centinaio o migliaio di periodi, si ottengono battimenti a frequenza udibile, della corrente di griglia che, riprodotti nel circuito placca e quindi rettificati, possono agire sulla lamina telefonica.

Si potrebbe obiettare che il sistema richiede un certo disaccordo fra il circuito L e quello L', ma poichè questo, è dell'ordine del migliaio di periodi, comincia ad essere nocivo, quando la frequenza

in arrivo si avvicina a quest'ordine di grandezza. Così, mentre per frequenze inferiori a 50 mila periodi, è conveniente usare un generatore separato e quindi mantenere il perfetto accordo, ciò è completamente inutile per le frequenze superiori (onde più corte).

Si trova matematicamente e l'esperienza conferma, che l'intensità del segnale rivelato, è massima, quando l'energia che ritorna sulla griglia è *appena sufficiente* a mantenere il circuito in oscillazione.

Così, se si usa un circuito analogo a quello della fig. 116 dove il ritorno è assicurato dall'accoppiamento elettromagnetico fra L' ed L'', l'intensità massima si ottiene quando l'accoppiamento è il minimo per il quale l'oscillazione può ancora mantenersi; ed usando invece un accoppiamento elettrostatico fra placca e griglia (a mezzo di un condensatore), quando la capacità di questo è ridotta ai valori più piccoli.

Nel primo capitolo abbiamo accennato come sia possibile esprimere in *termini di resistenza,* le perdite di energia che si verificano in un circuito (v. pag. 19).

Ora, se si considera l'effetto reazione come un sistema atto a rifornire al circuito l'energia in esso dissipata a cagione delle sue perdite, è possibile anche affermare, che *la reazione diminuisce la resistenza del circuito stesso.*

In questo modo, regolando opportunamente l'accoppiamento dei circuiti placca e griglia, si può ridurre l'impedenza del circuito, a valori prossimi allo zero, così che la corrente generata da una debolissima oscillazione incidente, possa essere centinaia di volte maggiore di quella, che si sarebbe destata nel circuito, quando l'accoppiamento reattivo non fosse stato usato.

Per questa ragione, la sensibilità del rivelatore a reazione è centinaia di volte maggiore di quella dell'altro da prima considerato.

D'altra parte a maggior vantaggio del sistema, l'amplificazione è oltremodo selettiva. Infatti, se si rappresenta graficamente la variazione dell'impedenza in funzione della frequenza, si ottiene una curva, simile a quella della fig. 117, che dimostra come soltanto per frequenze molto prossime ad A, il valore della impedenza è pressochè nullo e quindi la corrente nel circuito è massima.

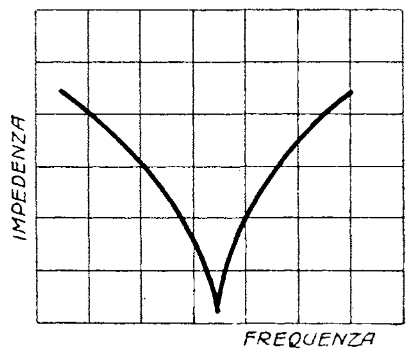


Fig. 117.

Il sistema a reazione è molto usato, ed è senza dubbio il più importante, nelle applicazioni radio elettriche moderne. Senza addentrarci nello studio e nella ricerca degli

artifici necessari alla sua realizzazione (cui avremo agio di riferirci in seguito) ricordiamo qui alcune delle sue caratteristiche pratiche.

La più spiccata di queste è l'apparente contradizione che si nota spesso fra la logica della teoria e il risultato esperimentale.

Supponiamo ad esempio di realizzare un accoppiamento elettromagnetico fra placca e griglia. Poichè i due avvolgimenti debbono logicamente essere avvolti in senso inverso, affinchè gli effetti delle correnti di griglia e di placca, si sommino, riesce strano notare, come spesso si verifica in pratica, che quando i due avvolgimenti si trovano relativamente lontani, il circuito oscilla spontaneamente, qualunque sia il senso delle loro rispettive connessioni.

Ma la sorpresa aumenta ancora quando, accoppiandoli fortemente, si nota che l'oscillazione non può più mantenersi.

Questa apparente contradizione e così tante altre comuni in pratica, hanno tutte una spiegazione più o meno complessa.

Nel nostro caso, possiamo farci un esatto concetto del fenomeno, pensando che fra griglia e placca esiste sempre un certo accoppiamento elettrostatico, rappresentato dalle piccole capacità (determinate da conduttori o masse metalliche più o meno vicine) che possono raggiugere non indifferenti valori.

Questo accoppiamento è sufficiente a mantenere il circuito in oscillazione, e di qui l'apparente inutilità della vicinanza dei due avvolgimenti e del loro rispettivo senso. D'altra parte però, se questi si avvicinano notevolmente e se il loro senso è concorde, le rispettive correnti si contrastano, e ciò è sufficiente a neutralizzare l'accoppiamento elettrostatico.

A proposito di capacità nocive nel circuito della lampada, è utile ricordare quella, che per le infime dimensioni dei conduttori che la determinano, potrebbe apparire la più trascurabile: la capacità, cioè, che esiste fra gli elettrodi stessi del triodo.

Possiamo infatti considerare tre capacità interne; e cioè quelle fra placca e griglia, fra placca e filamento e fra griglia e filamento.

Queste tre capacità dipendono soltanto in parte, dalla distanza e dalla dimensione degli elettrodi, ma sono bensì esaltate da vari fattori esterni, quali per esempio la natura del circuito usato, l'impedenza del circuito placca, ecc., tanto che il loro valore è di gran lunga superiore a quello calcolabile. Così, allorchè la frequenza è molto alta, l'accoppiamento che si effettua fra placca e griglia attraverso le capacità interne della lampada, è più che sufficiente a mantenere il circuito in continua oscillazione (v. 3ª e 4ª parte).

Un' altra caratteristica del rivelatore a reazione, è quella di produrre con molta facilità correnti irregolari e variabili, capaci di rendere ogni sorta di « rumori » al telefono. Uno dei rumori più conosciuti è quello dovuto ad una serie di colpi regolari, il periodo dei quali può variare da qualche secondo fino ad una frazione così infima da riuscire inudibile. Il fenomeno è assolutamente locale, poichè è dovuto ad un rapido innesco e disinnesco delle oscillazioni, causato da un periodico ed eccessivo aumento del potenziale negativo di griglia.

Ciò si nota facilmente per un accoppiamento troppo stretto fra i circuiti di griglia e di placca e anche quando la resistenza di griglia è troppo elevata. Si rimedia a questo diffetto diminuendo questa resistenza, finchè la frequenza dell' interruzione diventa ultra-udibile.

Generalità pratiche sui triodi. — Esistono in pratica tipi svariati di triodi destinati alle più diverse applicazioni: così dalla più piccola lampada raddrizzatrice costruita per controllare una frazione infima di watt nel suo circuito placca, si perviene alle più potenti lampade oscillatrici che controllano centinaia di chilowatts in condizioni normali.

Poichè la potenza fornita dipende dall' intensità della corrente placca, e quindi dall' emissione elettronica, anche la potenza consumata nel filamento varia con questa.

È bene che l' emissione della lampada usata come raddrizzatrice non sia eccessiva e ciò in modo speciale quando i segnali da ricevere sono deboli. Infatti non è l' intensità assoluta del segnale che determina la possibilità di ricezione, ma bensì l' intensità relativa ai disturbi di ogni genere che vengono rivelati assieme a quello. Ora succede molto spesso che l' intensità dei disturbi è centinaia e anche migliaia di volte superiore a quella del segnale.

Ma usando una emissione appena sufficiente ad assicurare la ricezione di questo, anche le più intense f. e. m. impresse sulla griglia non possono che determinare variazioni (nella corrente placca) dello stesso ordine di grandezza, e quindi l' udibilità risulta maggiore.

Per aumentare la sensibilità di un complesso rivelatore è generalmente consigliabile usare una emissione ridotta ed una tensione placca relativamente bassa.

Volendo invece amplificare con triodi, occorre una emissione notevole, per essere sufficientemente lontani dal punto di saturazione (evitando che la corrente amplificata risulti distorta rispetto a quella impressa, v. 2ª parte) e quindi si possono usare tensioni placca relativamente alte.

Nella generazione di oscillazioni, che come sappiamo dipende da una forma particolare di amplificazione, si tende a rendere massime tanto l'emissione che la tensione placca, compatibilmente con la durata della lampada.

Una lampada capace di controllare una notevole potenza può essere resa inservibile, sia per fusione del filamento sia per la rottura del vetro, casi quasi sempre dovuti ad eccessivo riscaldamento.

Ma il principale fattore che agisce sulla durata di un triodo, quando la potenza placca è notevole, è la ionizzazione del gas residuo cui ci siamo riferiti in precedenza.

Infatti, nel vuoto più perfetto che è possibile ottenere coi mezzi moderni, esistono ancora, e in numero grandissimo, molecole gassose (qualche decina di milioni per centimetro cubo pei vuoti più spinti).

Quando l'emissione elettronica è intensa (accensione eccessiva del filamento) e quando la velocità degli elettroni è molto grande (tensione eccessiva sulla placca) accade con molta facilità che dagli atomi materiali esistenti nell'interno della lampada, vengano liberati elettroni.

Rimangono allora dei nuclei materiali, nei quali predomina la carica positiva, che si precipitano sul filamento elevandone di molto la temperatura e quindi compromettendone la durata.

L'aumentata corrente placca, provoca d'altra parte un bombardamento eccessivo di elettroni sulla griglia e sulla placca tanto che in breve queste possono raggiungere la temperatura di fusione [1], liberando quindi nuovi atomi e nuovi elettroni, così che in un brevissimo tempo la lampada esplode, nel vero senso della parola.

Per evitare questi dannosi effetti, si cerca oggi non solo di vuotare nel miglior modo il triodo, ma di mantenere a temperatura relativamente alta gli elettrodi durante il processo, così da potere ridurre il più possibile il numero degli atomi e delle molecole gassose.

Per questa ragione si trova generalmente più difficoltoso costruire triodi col filamento ricoperto di ossidi e quindi funzionanti a temperatura ridotta.

Infatti portando gli elettrodi ad alta temperatura si avrebbe la completa volatizzazione degli ossidi stessi; occorre allora accontentarsi di vuotare la lampada a temperatura relativamente bassa, così che il gas residuo, risulta spesso in quantità notevole.

Per rimediare a questo difetto si usa, a vuotatura ultimata, fare com-

[1] Per raggiungere la temperatura del rosso scuro la placca richiede un bombardamento elettronico equivalente a circa 10 watts per centimetro quadrato.

binare chimicamente parte di questo gas con sostanze adatte, da prima introdotte nella lampada ([1]).

Le lampade a filamento thoriato sono oggi molto diffuse in pratica, ma la scoperta delle loro proprietà data fin dai primordi della tecnica termoionica.

Infatti, già nella costruzione delle lampadine elettriche per illuminazione, si usava aggiungere una certa quantità di ossido di thorio ai filamenti per diminuirne la fragilità.

Le esperienze condotte con questi filamenti dimostrarono che l'emissione elettronica poteva, in determinate condizioni, essere molto più intensa di quella usuale.

Si pensò allora ad un vero e proprio sistema per « *thoriare* » il filamento, per incorporargli cioè una certa quantità di thorio metallico.

Oggi dopo avere mescolato al metallo una certa quantità di ossido (1-2 %) lo si porta ad una temperatura molto elevata (prossima ai 3000°) per un periodo brevissimo di tempo e in questo modo si elimina buona parte delle impurità che il filamento contiene e si trasforma l'ossido in metallo.

Si mantiene quindi per qualche tempo la temperatura prossima ai 2000° tanto che il thorio metallico per un fenomeno particolare, che non è possibile qui esaminare, si « diffonde » verso la superficie del filamento ricoprendola di un vero e proprio strato, che può determinare un aumento dell'emissione elettronica fino a 10 mila volte superiore al normale.

Il meccanismo dell' « evaporazione » è alquanto complesso.

Si può dire tuttavia, molto semplicemente, che quando un atomo di thorio arriva dall'interno alla superficie, facilita in modo molto notevole l'evaporazione per un fenomeno particolare che fu detto dell'evaporazione indotta. Così per ogni unità « evaporata » un altra unità arriva dall'interno del filamento a sostituirla tanto che lo strato si mantiene indefinitamente.

Aumentando però la temperatura del filamento l'emissione o evaporazione viene ad essere di tanto accresciuta che la compensazione non può più mantenersi, lo strato va man mano assotigliandosi, finchè scompare completamente così che la lampada perde ogni sua proprietà.

Ma è noto in pratica che, in uno di questi casi, basta mantenere per qualche minuto una temperatura di poco superiore al normale, *lasciando griglia e placca isolate*, perchè la lampada possa funzionare di nuovo. In questo modo non si fa che ricostruire lo strato superficiale

([1]) Così per esempio nei triodi a consumo molto ridotto, lo strato speculare che ricopre internamente il bulbo, è dovuto a magnesio metallico introdotto appunto per combinarsi coi residui gassosi.

di thorio, « diffondendo » verso la periferia quello che si trova incorporato nel filamento.

Oltre alle altre preziose qualità la. lampada a filamento thoriato presenta quella di una lunghissima durata. Essa però richiede grande cura tanto nella costruzione che durante l'uso, specialmente quando la potenza che può controllare è rilevante.

Riferendoci ancora alle caratteristiche pratiche dei triodi si può accennare ad una delle più importanti che si verifica specialmente nei casi di amplificazione e cioè ai « *rumori* » che essi producono.

Infatti usando un certo numero di triodi in cascata (v. 2ª parte) si nota al telefono un rumore caratteristico e simile ad un « soffio » che può raggiungere un' intensità molto notevole.

Poichè questa è tanto più intensa quanto peggiore è il grado di vuoto delle lampade, il fenomeno può a ragione attribuirsi alla presenza di molecole ed atomi gassosi nello spazio filamento placca, se pur ciò non è ancora stato esaurientemente provato.

Ma un rumore ancor più strano è quello che si presenta sotto forma di « crepitii » di intensità e natura variabile. L'essenza di questi resta oggi molto oscura: essa si è da prima fatta dipendere dalle impurità che il filamento necessariamente contiene, ma più recentemente a vere e proprie variazioni o fluttuazioni della corrente termoionica che ci apparirebbe costante soltanto perchè non disponiamo di apparecchi capaci di darcene i valori per ogni successivo istante di tempo. Se ciò fosse possibile si noterebbero invece importanti differenze fra una e l'altra misura, differenze che sarebbero in parte rivelate al telefono, sotto forma appunto di crepitii (1).

Lungo sarebbe elencare ed esporre anche succintamente l'insieme dei fenomeni secondari che si verificano nella lampada a tre elettrodi. Da quanto precede possiamo soltanto *cominciare a comprenderne* la complessità del funzionamento e la conoscenza ancora limitata che noi abbiamo di ciò che succede, in apparente quiete, nel suo interno.

Ciò d'altra parte apre la via a nuovi studi e dà speranze sicure di continui miglioramenti.

(1) Questa spiegazione dovuta allo Scottky (tedesco) trova appoggio in un altro fenomeno fisico e cioè nelle fluttuazioni che si notano nella distribuzione dei corpi sciolti in un *solvente*. Si trova infatti che per ogni unità di volume del solvente la quantità di soluto è variabile sia rispetto alle altre unità sia nel tempo.

PARTE SECONDA

CAPITOLO I.

AMPLIFICAZIONE

Amplificatori. — La principale caratteristica dei « *rivelatori* » o « *detector* » più usati nella pratica (audion e cristallo) è, che il loro effetto raddrizzatore è *direttamente proporzionale al quadrato della f. e. m. impressa.*

In altri termini, se per una f. e. m. impressa di valore *uno*, il potere rivelatore è *uno*, per una f. e. m. impressa di valore *due*, il potere rivelatore è *quattro.*

Di qui il difetto di una sensibilità molto maggiore ai segnali forti piuttosto che ai deboli, difetto tanto più importante, quanto più grande è la distanza che separa il ricevitore dal posto di emissione.

È quindi necessario, per la ricezione di segnali molto deboli, curare in modo speciale i vari circuiti del complesso rivelatore, riducendone il più possibile le perdite, tanto che la loro intensità risulti massima (v. 6° cap.).

Ma quando questa è estremamente piccola, non esiste che un mezzo per assicurare la ricezione: aumentarla cioè « artificialmente », prima ancora di raggiungere il raddrizzatore. Si giunge a questo aumento a mezzo della amplificazione ad alta fequenza (amplificazione A. F.) che si ottiene oggi a mezzo di lampade elettroniche, utilizzando appunto il loro effetto amplificatore (v. 1ª parte).

Teoricamente è possibile anteporre al detector qualunque numero di piani amplificatori, collegati in serie ed ottenere effetti addirittura sorprendenti. Infatti supposta un'amplificazione media di 10, avremmo un aumento finale di 100, 1000, 10000, 100000 volte dopo 2, 3, 4, 5 stadi rispettivamente.

In pratica però, qualunque sia il circuito usato, esiste un limite oltre il quale l'amplificazione diviene incerta, irregolare e spesso impossibile. Sebbene eccezionalmente nel caso di frequenze relativamente basse (onde lunghe) e in laboratorio, si sia potuto arrivare a più di 15 stadi, questo limite resta fissato a un massimo di 5-6 per onde superiori ai 1000 metri e di 3-4 per quelle inferiori.

Questa limitazione degli stadi, è determinata da una grande quantità di fattori, che entrano in gioco con tanta maggior notevolezza quanto più il loro numero viene aumentato.

Posso citare fra gli altri i principali, quali il notevole aumento dei rumori parassiti dovuti agli audions stessi (v. pag. 102), la produzione di fischi, gracidii ecc. dovuta ad interferenze fra le oscillazioni generate nei vari circuiti ed infine la principale e più notevole limitazione, quale l'impossibilità di governare l'auto innesco di oscillazioni locali (v. pag. 98) e gli effetti reattivi, attraverso le capacità parassite dell'insieme e delle lampade (tanto più notevoli quanto più la frequenza è elevata) che limitano di molto la media di amplificazione.

Per queste ragioni non si verifica mai, in pratica, che il grado di amplificazione cresca con la stessa rapidità del caso teorico esaminato: ciò succede invece in grado molto minore e variabile nelle differenti realizzazioni, come avremo occasione di notare.

Per sormontare queste difficoltà si sono escogitati dispositivi particolari, i quali, se hanno in parte risolto il problema dell'amplificazione A. F. con onde lunghe, non si può dire l'abbiano alla stessa guisa risolto nel caso dell'amplificazione con onde relativamente corte se non con metodi speciali (v. 4° cap.).

Trattando ora dell'amplificazione A. F. in generale, e riservandoci in seguito lo studio dei particolari casi pratici, ricordiamo, (v. pag. 84) che il potenziale di griglia di un triodo controlla la corrente di placca fornita localmente e che usando speciali precauzioni si può far sì che la corrente del circuito griglia rappresenti un'infima parte di quella di placca, tanto da ottenere un'amplificazione notevole di potenza; e che imprimendo sulla griglia un potenziale alternativo, qualunque sia la variazione di questo, si può ottenere un'identica ed aumentata variazione della corrente placca.

Si tratta ora di fare in modo che questa variazione sia la massima possibile, per poterla imprimere successivamente dalle placche alle griglie di un certo numero di lampade in cascata.

Ma poichè è impossibile collegare direttamente le placche con le griglie successive ([1]), occorre trovare un adatto artificio che permetta di traslare questa variazione (sotto forma di variazione di potenziale) da una lampada all'altra.

Questi sistemi traslatori determinano il nome degli amplificatori che ne sfruttano il principio e che in pratica possono dividersi in:

([1]) Il ciruito placca è infatti atttaversato da una corrente continua di notevole valore.

amplificatori a trasformatori, amplificatori a resistenze, amplificatori a induttanze.

A tutte e tre le categorie appartengono amplificatori per qualsiasi frequenza, dalle più basse alle più alte ([1]).

([1]) La rappresentazione schematica dei collegamenti fra le varie parti che compongono un « circuito », già accennata nella prima parte, diviene ora sempre più importante ed indispensabile, per la chiarezza e la comprensione del funzionamento.

Lo « schema » è un arma molto importante nelle mani del tecnico, poichè permette di istantaneamente dedurre e comprendere le caratteristiche del sistema più complesso.

Esso deve essere semplice e chiaro e sopratutto uniforme, così che sia facile, dopo averne compresa l'essenza, il dedurne a prima vista le qualità.

Il primo consiglio al lettore che desidera intraprendere costruzioni ed esperienze nel campo radio elettrico, è quello di rendersi padrone dello schema, così da averlo presente nella mente, senza dover ricorrere al testo se non per eventuali controlli. Così egli troverà il cammino molto facilitato e aperta la via a modifiche e perfezionamenti *nuovi.*

Ho cercato di essere semplice ed uniforme il più possibile nella rappresentazione schematica dei vari circuiti, scegliendo in Italia e all'Estero, i simboli che meglio potevano rispondere allo scopo.

Così ho adottato (nei circuiti a lampade), l'uso, non molto diffuso fra noi, di abolire il circuito di accensione, che spesso complica notevolmente la chiarezza dello schema, per limitarlo al solo contatto col filamento, che si suppone spesso realizzato, salvo specifica dichiarazione contraria, al lato negativo.

TABELLA DEI SIMBOLI

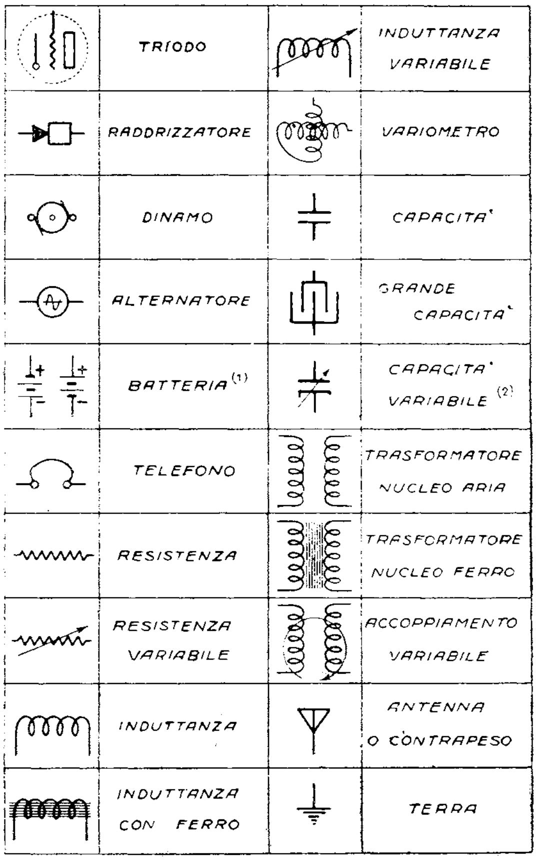


Fig. 118.

Il filamento che rappresento con un tratto marcato rettilineo, può considerarsi alimentato da una batteria disposta come alla fig. 99 (punteggiata).

I simboli adottati sono in gran parte racchiusi nella tabella della fig. 118.

Amplificazione e trasformatori. — Consideriamo il circuito della fig. 119.

Gli amplificatori per alte frequenze hanno un rendimento di gran lunga inferiore di quelli analoghi per frequenze più basse.

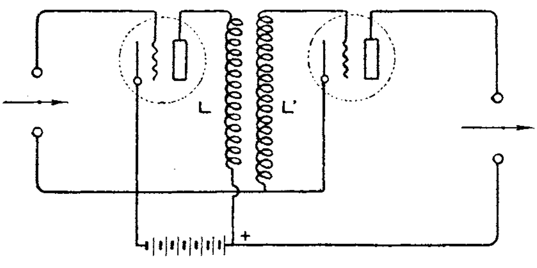


Fig. 119.

Il loro comportamento è molto complesso, ma se si suppongono fisse tutte le caratteristiche, considerando i due circuiti di placca e di griglia *L* ed *L'*, si trova per ogni determinata frequenza, un unico valore della induttanza *L*, per il quale corrisponde il massimo aumento fra il potenziale impresso sulla prima griglia e quello ottenuto sulla successiva.

Praticamente, per ogni dato valore di *L*, corrisponde un ristrettissimo campo di frequenze per il quale la traslazione di potenziale può essere considerata efficace.

Infatti, soltanto quando la vibrazione incidente ha una frequenza prossima a quella propria dell' induttanza *L*, questa, agendo come una grandissima resistenza, mantiene ai suoi estremi una differenza di potenziale massima, che alla sua volta induce nel circuito di griglia e quindi sulla griglia stessa della lampada successiva, una f. e. m. di elevato valore.

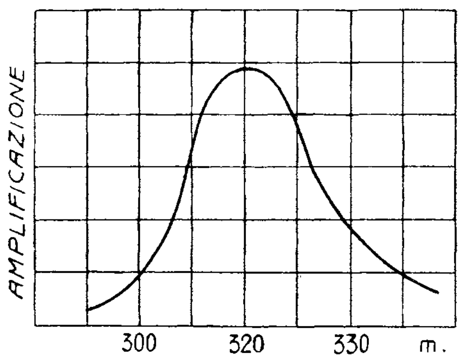


Fig. 120.

Questo andamento si può graficamente illustrare con la curva della fig. 120 che è tanto più ripida quanto più il rapporto fra le due induttanze, primaria e secondaria, è elevato, lo svantaggio della ristrettezza del campo utile, essendo compensato da una maggiore amplificazione.

Però nel campo delle alte frequenze ben poco vantaggio può trarsi da questa particolarità, poichè diminuendo grandemente l' induttanza del primario si diminuisce pure la resistenza o meglio reattanza del circuito placca e quindi la tensione da traslare sulla griglia successiva; e d' altra

parte aumentando grandemente la induttanza del secondario si aumenta alla stessa guisa la sua capacità distribuita (1) la quale essendo in parallelo al circuito filamento-griglia abbassa la tensione impressa su quest'ultima.

Esiste quindi per ogni frequenza un massimo di rendimento del trasformatore determinato da adatti valori sia del primario che del secondario (usando naturalmente la medesima lampada).

Volendo sfruttare una maggior gamma di azione da uno stesso trasformatore, si può sintonizzare il suo primario a mezzo di un condensatore variabile per mantenere costante il valore della reattanza del circuito placca, al variare della frequenza. Il secondario può restare fisso e di valore massimo, relativamente alla grandezza della sua capacità distribuita.

Questo artificio sebbene permetta una buona amplificazione in un campo molto vasto di frequenze è, nel caso di più stadi, di un regolaggio molto delicato (a meno che tutti i condensatori non siano comandati simultaneamente) e presenta nella pratica varie difficoltà.

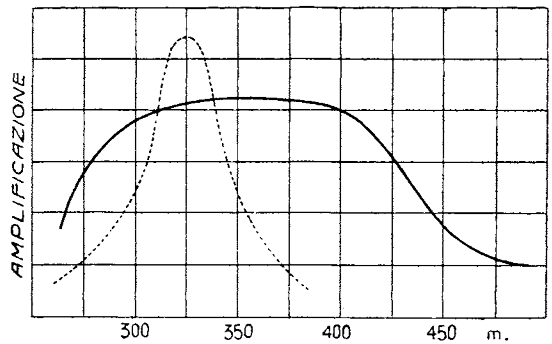


Fig. 121.

Se si fa in modo che gli avvolgimenti del trasformatore abbiano una forte resistenza ohmica e quindi il circuito presenti un forte smorzamento (v. pag. 56) la curva caratteristica non è più così acuta ma si appiattisce presentando una amplificazione costante, se pur inferiore, in un campo di frequenze molto più vasto e permettendo per uno stesso trasformatore, una maggior gamma di utilizzazione (fig. 121).

Il trasformatore può chiamarsi *aperiodico* o più propriamente *semi-aperiodico* essendo impossibile la costruzione di trasformatori, che diano lo stesso rendimento per qualsiasi frequenza.

Nel caso molto comune di un amplificatore operato in una vasta gamma di onde da persone poco esperte, questo tipo è particolarmente

(1) La reciproca vicinanza delle varie spire dell'avvolgimento fa sì che la loro capacità elettrostatica aumenti di valore in modo notevole (v. pag. 11) così che spesso si da il caso che una corrente a frequenza elevata possa liberamente fluire attraverso una induttanza, appunto perchè la *capacità distribuita* lungo l'avvolgimento è molto grande.

indicato, sebbene la tecnica odierna tenda a rendere pratico e di facile manovra, il tipo a trasformatori sintonizzati, usato da prima per funzionare su frequenze determinate (ad esempio per comunicazioni transatlantiche su onde lunghe) o per usi di laboratorio.

Amplificazione a resistenze. — Riferendoci alla più semplice ed elementare delle svariate teorie che riguardano il funzionamento dell'amplificatore a resistenze, possiamo considerare la fig. 122.

Come al solito un potenziale qualunque applicato alla griglia del primo audion, determina una variazione della corrente di placca, che alla sua volta fa variare il potenziale agli estremi della resistenza *R*, la quale essendo collegata rispettivamente al filamento e alla griglia della lampada successiva, determina su quest'ultima, attraverso il condensatore *C*, un'analoga variazione.

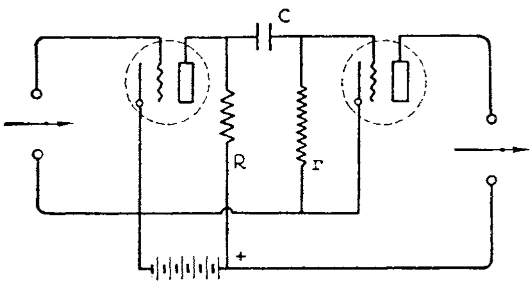


Fig. 122.

È quindi la resistenza *R* che fa da mezzo traslatore di questa variazione. Infatti, entro certi limiti il potenziale impresso sulla griglia successiva è tanto più notevole quanto più questa è elevata.

La curva della fig. 123, ottenuta esperimentalmente, rappresenta la variazione del coefficiente di amplificazione al crescere di *R*, e mostra come oltre un certo limite, successivi aumenti di questa non migliorano il rendimento.

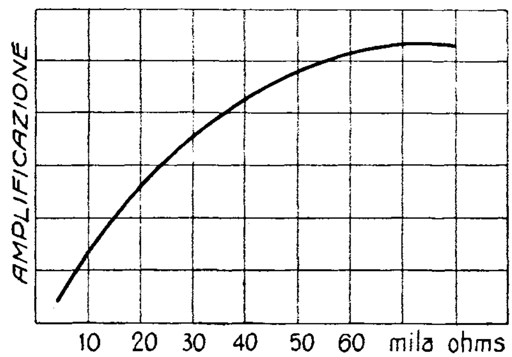


Fig. 123.

Il condensatore *C* ha lo scopo di isolare la griglia della sorgente di potenziale *B*, che altrimenti impedirebbe il funzionamento a cagione della sua elevata tensione positiva. E poichè inserendo nel circuito di griglia un condensatore, le cariche elettriche via via accumulantesi (v. pag. 91) renderebbero il suo potenziale tanto negativo da impedire il passaggio della cor-

rente placca e quindi il funzionamento, si inserisce fra griglia e filamento una resistenza *r* attraverso la quale possano in certo qual modo fluire queste cariche negative. Il valore di questa resistenza dipende dalle caratteristiche della lampada usata, dal grado di vuoto, dal valore della capacità, ecc. e nella pratica comune è dell'ordine del megaohm.

Il condensatore di griglia deve presentare alla corrente che lo attraversa una reattanza tale da non diminuire in modo apprezzabile il potenziale sulla griglia stessa, quindi per ogni frequenza esiste un valore optimum della sua capacità.

Quando la frequenza è molto elevata bisognerebbe ridurre quest'ultima ad un valore estremamente piccolo: ma allora le capacità interne della lampada predominano e sono sufficienti ad impedire il funzionamento. Per questo l'amplificatore a resistenze non può essere usato al di sotto dei 1500 metri d'onda, a meno di non adottare lampade speciali di minima capacità interna.

Un altro difetto di questo amplificatore è la tendenza delle varie lampade a funzionare come raddrizzatrici a cagione dei condensatori sulle loro griglie, con una non indifferente riduzione del rendimento.

Modernamente esso riceve un vasto impiego nella amplificazione a bassa frequenza (udibile) a cagione della sua quasi assoluta aperiodicità e quindi della fedeltà della riproduzione (v. 2° cap.).

Amplificazione ad induttanze. — Se si sostituisce alla resistenza *R* una induttanza *L*, la reattanza della quale sia molto alta per la frequenza di lavoro dell'amplificatore, abbiamo un altro metodo per traslare la variazione di potenziale da una lampada all'altra, col vantaggio di presentare un piccolissimo ostacolo alla corrente continua di placca e quindi di richiedere una minore tensione di questa (fig. 124).

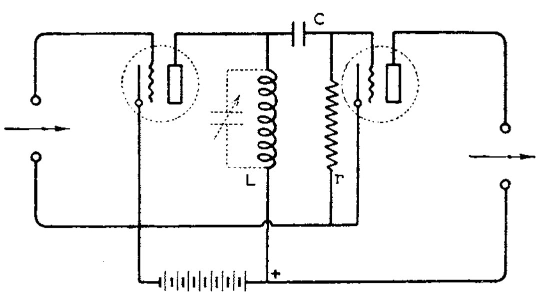


Fig. 124.

Nel caso dell'amplificazione a *BF* l'induttanza *L* si realizza facilmente con un avvolgimento su nucleo di ferro e i risultati ottenuti sono molto buoni nei riguardi della purezza della riproduzione (mancanza di distorsione: v. 2° cap.). Ma con l'aumentare della frequenza è impos-

sibile evitare che la capacità distribuita dell'avvolgimento faccia sì che il rendimento massimo sia limitato per ogni valore di L, ad una certa *frequenza di risonanza* e l'amplificazione ridotta al variare di questa. Si può come nel caso dei trasformatori, realizzare un notevole miglioramento, inserendo in parallelo ad L un condensatore e raggiungendo la necessaria reattanza a mezzo di quest'ultimo.

Con questo artificio si può ottenere una buona traslazione anche quando la frequenza è relativamente alta.

La capacità griglia-filamento, analogamente agli altri casi, limita la sua applicazione al ricevimento delle onde molto corte, e il condensatore sulla griglia determina spesso la rivelazione dei segnali prima del necessario.

Tuttavia esso è molto usato in pratica nella ricezione al di sopra dei 200 metri di lunghezza d'onda e nella amplificazione *BF*, dove sembra dare risultati leggermente migliori di quello a resistenze.

Auto oscillazione. — Fra i fattori che limitano l'amplificazione di frequenze molto alte, il principale è determinato dal ritorno sulla griglia di una parte della corrente amplificata (placca) sufficiente a mantenere il circuito in oscillazione. Questo ritorno, comunemente chiamato « effetto reazione » (v. pag. 94) si effettua per via induttiva (influenza reciproca dei conduttori, induttanze, ecc. che compongono l'amplificatore) o per via capacitativa, attraverso le capacità interne della lampada o a quelle esterne dei conduttori. Esso è tanto più accentuato quanto più alta è la frequenza, specialmente per l'aumentata facilità di passaggio attraverso le capacità parassite e il suo effetto è di limitare, rendere irregolare o addirittura impedire il funzionamento.

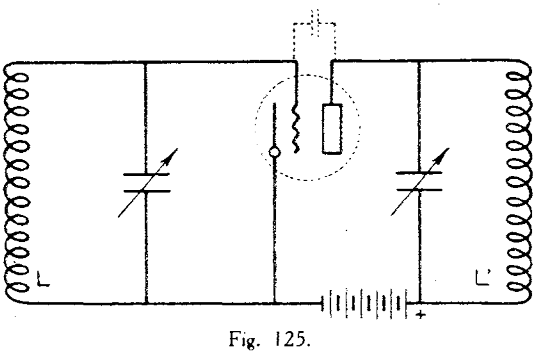


Fig. 125.

Consideriamo infatti la fig. 125 e supponiamo che L sia il circuito di entrata ed L', quello di accoppiamento della lampada seguente. La massima traslazione di potenziale si ottiene quando L' è in risonanza con la frequenza incidente; ma allora parte della corrente *AF* trova una facile via attraverso alla capacità griglia-placca (punteggiata in figura) e reagendo su L provoca l'innesco di oscillazioni locali.

Questa proprietà di un amplificatore di spontaneamente entrare in oscillazione quando ci si avvicini coi vari circuiti al punto risonanza, è inevitabile a frequenze molto alte, ed avviene anche se si eliminano con cura tutte le azioni reciproche delle varie parti (schermi, connessioni speciali, ecc.) esclusivamente per il « ritorno » attraverso la lampada.

I problemi che si sono affacciati ai vari esperimentatori, per ottenere una buona e costante amplificazione, possono racchiudersi in due quesiti:

a) rendere il funzionamento privo da autooscillazione mantenendo però il massimo rendimento;

b) potere con adatti artifici governare a piacere l' effetto reazione.

Ambedue i quesiti sono importanti: il primo serve a stabilizzare e quindi a rendere sicuro e costante il funzionamento; il secondo ad aumentare la sensibilità dell' amplificatore, poichè permette di diminuire la resistenza dei vari circuiti.

Stabilizzazione. — Supponiamo di avere a disposizione un amplificatore montato nel modo più razionale (vedi 2° cap.). Il bisogno di un sistema che impedisca l' innesco di oscillazioni locali, comincia a farsi sentire quando la lunghezza d' onda è inferiore ai 2000 metri.

Il metodo più semplice consiste nell' inserire nel circuito *qualche cosa* che aumentandone la resistenza e le perdite, impedisca il mantenersi delle oscillazioni.

Questo metodo è irrazionale ed agisce a scapito della selettività e del rendimento. Tuttavia è il più diffuso in pratica, dove è rappresentato dall' inserzione del cosidetto *potenziometro*.

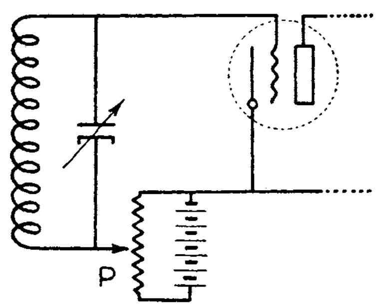


Fig. 126.

Il potenziometro serve generalmente a portare la griglia delle lampade amplificatrici ad un potenziale positivo, e in questo modo impedisce il mantenersi di oscillazioni locali.

Un potenziale anche leggermente positivo sulle griglie delle lampade amplificatrici significa: diminuzione della resistenza griglia-filamento in parallelo sul circuito AF; diminuzione della resistenza placca-filamento

ed introduzione di effetti rivelatori; quindi: *diminuzione della selettività, grande diminuzione di rendimento* (1), *consumo elevato di corrente placca e distorsione.*

Il suo uso, schematizzato nella fig. 126, è da evitare il più possibile a meno che questo non serva a variare i valori di un potenziale *negativo* di griglia o sia usato sulla lampada rivelatrice.

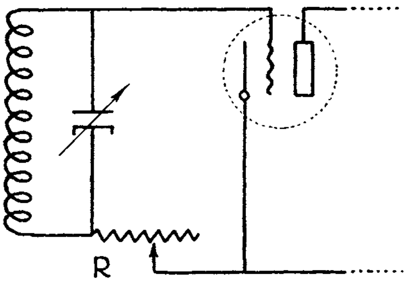


Fig. 127.

Volendo usare questo sistema ad *introduzione di perdita*, è più consigliabile inserire una vera e propria resistenza nel circuito, regolandone il valore fino ad ottenere i migliori risultati (fig. 127).

Un altro sistema molto semplice ed efficace consiste nel far reagire fra di loro i due circuiti griglia e placca oltre che attraverso la capacità interna della lampada anche magneticamente, disponendo le cose in modo che le due « reazioni » siano equivalenti e contrarie e quindi si annullino (v. pag. 98). Ciò si realizza facilmente con un circuito a reazione elettromagnetica, dove il senso dei due avvolgimenti anzichè contrario è identico (fig. 128) (2).

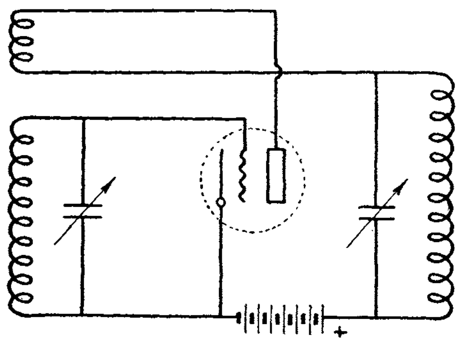


Fig. 128.

Si ottiene in questo modo un « soffocatore » di oscillazioni (che si suppongono già esistenti), molto efficace e che permette a seconda del grado di accoppiamento, di raggiungere una grande sensibilità senza introdurre alcuna perdita.

Oltre a questi artifici ne esistono altri più o meno complessi che prendono il nome dai vari inventori. L'Halzatine (americano) realizzò un ingegnoso metodo per neutralizzare la dannosa capacità griglia-placca delle lampade usate negli amplificatori.

(1) Infatti la diminuzione della resistenza dello spazio griglia-filamento, che è in parallelo al circuito dell'entrata, abbassa in modo molto notevole il potenziale impresso sulla griglia.

(2) Brev. dell'A. 1923.

Se accoppiamo al circuito di placca L (fig. 129) una induttanza L' tale che la f. e. m. in essa indotta sia di fase opposta a quella di L, e colleghiamo il lato ad alto potenziale con la griglia, attraverso il condensatore C', abbiamo nel circuito L due correnti, determinate da due f. e. m. indotte attraverso la capacità C' e C (rappresentando questa ultima quella griglia-placca).

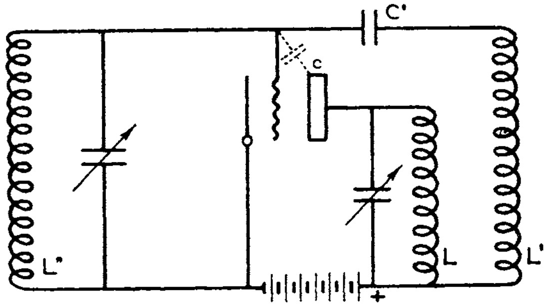


Fig. 129.

Ora esiste un valore di C' per il quale le due tensioni in opposizione sono esattamente uguali in valore assoluto, e quindi le rispettive correnti si annullano (v. cap. 3°).

Nel capitolo seguente ritorneremo sull' importante argomento della stabilizzazione, esaminando nuovi metodi pratici oltre a quelli accennati.

Uso dell' effetto reazione. — *Le caratteristiche principali di un amplificatore ad alta frequenza si debbono attribuire esclusivamente agli effetti reattivi che intervengono nell' apparecchio.*

Così è molto facile che la sensibilità di uno *stesso* amplificatore, si riduca in modo notevolissimo quando si operino insignificanti cambiamenti nelle varie parti che lo compongono, ed anzi si dà spesso il caso, che le stesse condizioni atmosferiche esercitino un' azione non indifferente sul funzionamento, specialmente se non si è provveduto a rendere fisse ed invariabili le caratteristiche dell' insieme.

Ho avuto modo di constatare come di vari istrumenti, costruiti identicamente con sistemazioni e connessioni assolutamente uguali all' analisi dell' occhio, nessuno presentava le stesse caratteristiche di funzionamento, appunto perchè le più impercettibili differenze, provocavano sensibili cambiamenti sulle influenze reattive reciproche.

Ciò per giustificare l' importanza dei più piccoli particolari in questo genere di costruzioni.

Una volta ben stabilizzato il ricevitore, l' effetto reazione può essere usato con vantaggio sia per riportarsi nei pressi dell' autoinnesco, diminuendo la resistenza AF dei circuiti ed aumentando l' intensità della corrente che li attraversa, sia per provocare addirittura oscillazioni locali nel caso della ricezione di onde persistenti.

Gli effetti reattivi e quindi la sensibilità possono essere facilmente variati cambiando le caratteristiche del sistema di stabilizzazione, specialmente quando si ricevono onde corte.

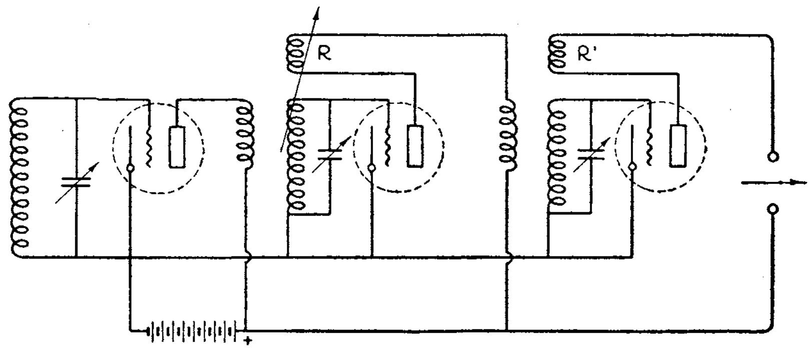


Fig. 130.

Quando ciò è impossibile o insufficiente a dare i migliori risultati si ricorre quasi sempre all'accoppiamento elettromagnetico che può farsi variabile o fisso.

Una giudiziosa distribuzione di accoppiamenti reattivi fissi di adatto valore in un amplificatore previamente stabilizzato può dare all'sperimentatore che si è reso padrone del funzionamento, la facoltà di ottenere una estrema sensibilità (fig. 130).

CAPITOLO II.

COSTRUZIONE DI AMPLIFICATORI

Precauzioni generali. — Il successo nella costruzione di complessi amplificatori, dipende esclusivamente dalla *qualità* delle parti componenti, e dalla *disposizione* loro e dei conduttori che le collegano.

Molto spesso si ottengono risultati migliori, usando materiale scadente; ma la cosa è semplicemente dovuta all' introduzione di perdite nei vari circuiti che se pur limitano i vari effetti reattivi, diminuiscono in modo molto più notevole il rendimento. Appunto per questo un amplificatore costruito secondo i criteri più razionali e con massima cura, è quasi sempre, in un primo tempo, più difficile a regolare e a stabilizzare.

La qualità delle varie parti significa induttanze e capacità elettricamente ottime e lampade di caratteristica adatta: *la disposizione* significa una sistemazione pratica che eviti il più possibile effetti nocivi di reazione sia induttivi che per capacità fra le parti stesse o fra i collegamenti.

Ambedue queste necessità sono state considerate negli esempi pratici che seguono.

Un altro fattore importante del successo è la limitazione del numero degli stadi amplificatori.

Infatti a meno di non dovere ricostruire un apparecchio già esperimentato con successo *ricopiandolo* nel modo più esatto, è sempre conveniente procedere per gradi e cioè sistemare in un primo tempo un solo stadio di amplificazione, aggiungere eventualmente un secondo quando il funzionamento non lasci nulla a desiderare e così un terzo e magari un quarto. Questo procedimento è indispensabile sia al vecchio esperimentatore che al nuovo, poichè permette di procedere *positivamente*.

Una volta portato l' unico stadio che precede il raddrizzatore al massimo rendimento, riesce abbastanza laborioso, aggiungendone un altro, sorpassare i risultati da prima ottenuti, ed anzi molto spesso si nota una diminuzione su questi. Occorre allora riguardare e ristudiare la sistemazione e il senso di collegamenti, eliminare o aumentare eventuali effetti reattivi, ecc. finchè si raggiunge un effettivo e pronunciato miglioramento. Ora questo risultato che si è ottenuto con ricerche pazienti sulla

ultima aggiunta, sarebbe riuscito oltremodo difficile o forse non sarebbe nemmeno stato raggiunto incominciando ad esperimentare con due stadi.

Durante queste prove è bene servirsi di un segnale molto debole come riferimento, poichè aumentando il numero di stadi *AF* i segnali già forti col solo raddrizzatore, guadagnano ben poco in intensità, sia pur migliorando in purezza.

Il metodo più conveniente è di servirsi di un ondametro collocato a distanza gradualmente crescente; esso può essere sostituito con una *eterodina* nel caso della ricezione di onde persistenti. Su onde dai 200 ai 600 metri, utilizzando un comune ondametro a vibratore *perfettamente isolato dal suolo,* un buon ricevitore con un piano *AF* prima del detector, deve permettere di udirne *chiaramente* la nota *musicale* (senza cioè innesco locale di oscillazioni), fino a cinque-dieci metri di distanza. L'aggiunta di successivi stadi deve migliorare in modo *notevolissimo* l'intensità di ricezione o la distanza possibile a raggiungere.

Mantenendo costanti le condizioni di funzionamento dell'ondametro è possibile farsi un esatto concetto del funzionamento del ricevitore.

Gli esempi che seguono rappresentano le realizzazioni che hanno dato i migliori risultati durante sistematiche esperienze e misure eseguite nel mio laboratorio.

Amplificatore universale. — Questo tipo di amplificatore-ricevitore è stato studiato per rispondere nel miglior modo all'uso esperimentale e permette la realizzazione di tutti i circuiti di amplificazione *AF* che abbiamo esaminato.

Un ricevitore di questo tipo si compone: del circuito di entrata o di sintonia, dell'amplificatore *AF,* del raddrizzatore e dell'amplificatore a *BF.* Tutte queste parti possono essere racchiuse in un solo istrumento, ma alle volte può essere conveniente, mantenerle separate. La separazione migliore si ottiene dividendo l'insieme in tre parti e cioè: nel sintonizzatore, nello amplificatore *AF* e detector e nell'amplificatore *BF.* In questo modo è possibile allargare il campo d'indagine con nuovi montaggi, come p. e. quello a supereterodina (v. 4° cap.).

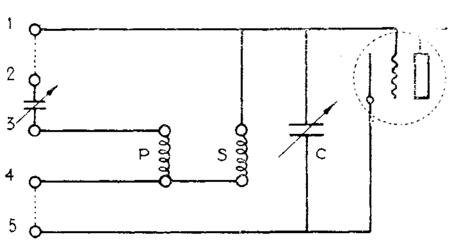


Fig. 131.

Il sintonizzatore prescelto permette ogni sorta di accoppiamenti colla antenna e si presta ugualmente bene per ogni lunghezza d'onda. Esso

consta di due condensatori variabili (di 1 millesimo di microfarad quando si desiderino raggiungere anche le onde più lunghe) collegati come alla figura 131 dove P ed S sono le induttanze primarie e secondarie, intercambiali a mezzo di adatte spine e possibilmente variamente accoppiabili.

I cinque serrafili d'entrata si possono collegare in vario modo ottenendo così gli accoppiamenti della fig. 132.

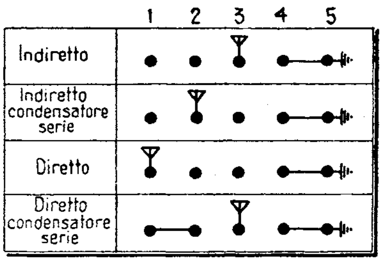


Fig. 132.

L'accoppiamento diretto può essere usato per la ricerca di emissioni e specialmente quando non si è disturbati da stazioni vicine. Il condensatore in serie sull'aereo, quando si usa questo accoppiamento, è molto utile ed ha pure influenza sull'innesco di oscillazioni locali poichè permette di variare la resistenza AF del circuito d'aereo. Esso è sempre consigliabile nel caso della ricezione di onde da 200 a 600 metri. Lo accoppiamento indiretto, può usare un primario aperiodico di poche spire per onde inferiori ai 600 metri senza grande diminuzione di rendimento ed anzi con un miglioramento notevole nella acutezza di sintonia.

Il condensatore in serie sull'antenna è anche in questo caso conveniente e permette coll'accordo dei due circuiti, una maggiore sensibilità specialmente per onde superiori ai 600 metri.

Così, qualunque siano le condizioni locali, è sempre possibile trovare i collegamenti più adatti per la migliore ricezione. La realizzazione pratica può essere fatta secondo i gusti del costruttore senza pregiudicare il rendimento, purchè si tenga presente che i contatti a spine debbono essere il più possibile perfetti e i collegamenti corti e ben disposti.

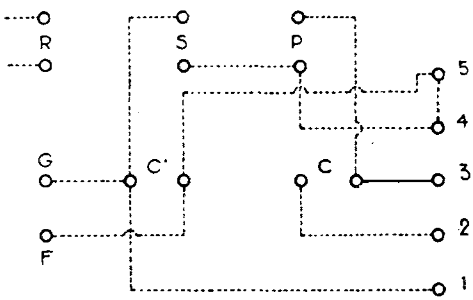


Fig. 133.

Una probabile sistemazione può essere quella della fig. 133 che indica la disposizione dei conduttori. I serrafili 4 e 5 in permanente corto circuito, servono al caso, per inserire un « quadro » ricevitore mantenendo tuttavia la bobina secondaria.

È bene, specialmente durante le prime prove, aggiungere una terza bobina (*R*) da accoppiare alla secondaria colla quale possa reagire.

L' amplificatore ad alta frequenza si costruisce per avere tre piani

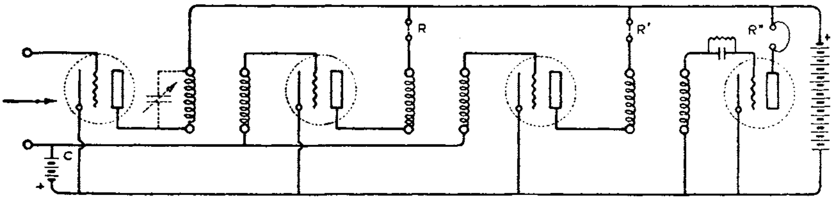


Fig. 134.

di amplificazione prima del detector, che si includeranno gradualmente in circuito mano mano che la padronanza dell' apparecchio aumenta.

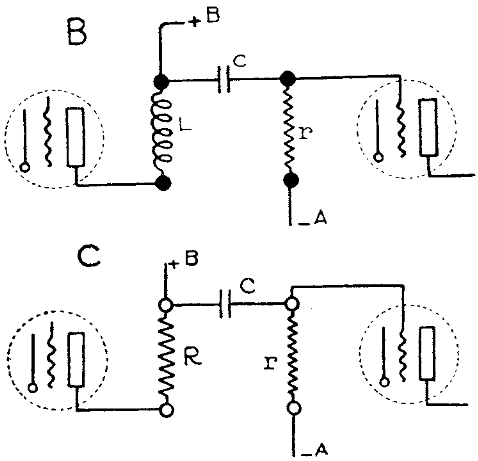


Fig. 135.

Anche in questo caso la disposizione generale permette un uso variato dall' insieme; così il circuito della fig. 134 appare come quello di un amplificatore a trasformatori e gli schemi *B* e *C* della fig. 135 dimostrano come sia possibile ridurlo facilmente ad amplificatore ad induttanze o a resistenze.

Le prese *R*, *R'* ed *R''* servono per disporre di eventuali effetti reattivi essendo intercalate sui circuiti di placca della 2ª, 3ª e 4ª lampada.

Fra i serrafili *C* si inserisce al caso una batteria di qualche volt, per aumentare il potenziale negativo sulle griglie delle lampade amplificatrici, e ciò soltanto quando l' insieme è ben stabilizzato, altrimenti provocherà certamente l' innesco di oscillazioni locali.

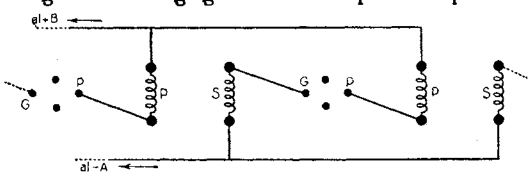


Fig. 136.

La realizzazione pratica può essere anche in questo caso quella più gradita al costruttore, purchè mantenga la razionalità dei collegamenti.

Un montaggio semplice è quello della fig. 136 (dove si suppone

l'uso di lampade a zoccolo tipo francese) ed è indicato per ridurre al minimo le concessioni.

È inutile usare reostati separati alle varie lampade: eventualmente oltre a quello che comanda tutti i triodi contemporaneamente se ne può inserire uno separato sul raddrizzatore.

Il montaggio può effettuarsi su una lunga striscia isolante e non presenta alcuna difficoltà. È sempre preferibile *abbondare nello spazio* anzichè risparmiarlo, a meno di non usare schermi metallici come vedremo in seguito. È consigliabile incominciare con un circuito a « trasformatori ».

Non reputo conveniente ricorrere a quelli del commercio, a meno di non essere sicuri delle loro caratteristiche. I trasformatori del tipo semi-aperiodico, si costruiscono facilmente, avvolgendo nelle scanalature di un cilindro di legno o ebanite (fig. 137) un conveniente numero di spire a seconda della frequenza che si desidera amplificare. Ho trovato esperimentalmente che il rendimento che si ottiene con un rapporto nei pressi di 1 a 2 è dei migliori e mi sembra anzi cosa assai buona (usando valvole usuali) fare la frequenza di risonanza del secondario circa la metà di quella del primario ([1]).

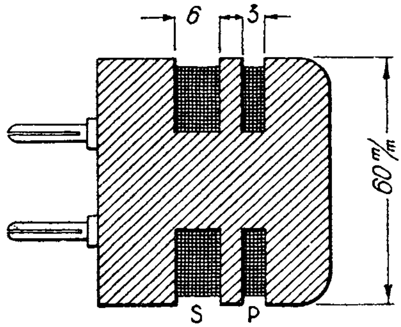


Fig. 137.

Per far ciò, una volta bobinato il trasformatore, si inserisce il secondario *nel circuito di griglia* di una delle lampade dell'amplificatore, lasciando libero il primario. Si avvicina un ondametro o vibratore e si nota il punto per il quale l'amplificazione è massima. Si collega allora il primario al posto del secondario e si tolgono o aggiungono tante spire, finchè la risonanza si ottiene su una lunghezza d'onda *metà* della precedente. Si collegano allora le estremità degli avvolgimenti a quattro spine metalliche fissate alla base del trasformatore. È molto importante ricordare che:

La fine dell'avvolgimento primario deve essere sempre collegata alla placca.

La fine dell'avvolgimento secondario deve essere sempre collegata alla griglia.

In questo stesso modo si possono costruire i trasformatori degli altri stadi. Il diametro del filo non ha notevole importanza sul funzionamento

([1]) Brev. dell'A.

qualunque sia la frequenza. Diminuendolo, la curva caratteristica del trasformatore si appiattisce.

Quindi quanto più sottile e resistente il filo, tanto maggiore la gamma di onde coperta, con rendimento costante se pure minore, come abbiamo già notato nel primo capitolo.

L'avvolgimento è bene sia regolarmente bobinato e il diametro del filo scelto in modo da occupare quasi tutto lo spazio disponibile nella scanalatura.

I rispettivi valori per le varie lunghezze d'onda sono dati approssimativamente dalla tabella, che porta pure quelli delle induttanze del circuito di sintonia. I valori di queste ultime variano naturalmente a seconda della antenna usata quando si usa l'accoppiamento diretto, ma possono essere compensati a mezzo del condensatore variabile *C*.

Sintonia		Lunghezza d'onda	Trasformatore	
P	S		P	S
Aperiodico 10	40 — 60	300 — 350	150	300
		350 — 450	175	350
		450 — 800	300	600
100	150	800 — 1800	500	1000
250	350	1800 — 4000	750	1500
450	600	3000 — 8000	1200	2500

Alle prove si inserisce da prima un solo trasformatore collegando il sintonizzatore alla griglia della lampada che lo precede. Si collega una bobina analoga a quella secondaria nel circuito placca del detector a mezzo delle spine *R* e la si accoppia alla secondaria stessa, fino ad ottenere l'innesco.

Questo deve essere graduale e prodursi con le stesse caratteristiche tanto stringendo quanto allargando l'accoppiamento. Se ciò non si verifica, occorre variare la resistenza di griglia del detector, o aumentare l'accensione o diminuire la tensione placca. Il migliore valore del condensatore di griglia è di circa un quarto di millimicrofarad con dielettrico possibilmente in mica e molto bene isolato.

Una volta ottenuto l'innesco graduale, la sensibilità dell'istrumento deve essere veramente notevole. Si può cercare allora di portare la « reazione » sullo stesso trasformatore, ma ciò non dà generalmente risultati molto buoni a cagione del forte accoppiamento fra primario e secondario ed alla resistenza relativamente elevata degli avvolgimenti. Il senso della « reazione » deve potersi invertire in modo da potere spegnere eventuali oscillazioni locali. Aumentando il numero di stadi si cercherà di inserire

la « reazione » nel circuito placca che più permette la stabilizzazione dello apparecchio. Se si collega un condensatore variabile *sul primario* di un trasformatore (preferibilmente del primo) si può, variandolo, facilmente provocare o spegnere oscillazioni locali. La « reazione invertita » è però quasi sempre necessaria per stabilizzare l'insieme per onde inferiori ai 600 m.

Quando si sono sorpassate tutte le difficoltà e il rendimento è ritenuto soddisfacente si possono sistemare definitivamente le varie parti e ciò ancora con molte precauzioni, affinchè nessuna caratteristica venga cambiata.

Il lettore troverà questo metodo di procedere piuttosto incerto. Esso infatti considera che nessuno degli eventuali ricevitori costruiti secondo questi suggerimenti, avrà caratteristiche uguali a quelli da me studiati ed esperimentati (almeno per onde al di sotto dei 1000 metri), e quindi suggerisce i tentativi e le modifiche necessarie per uguagliare queste lievi differenze e per raggiungere *con sicurezza* le migliori condizioni di funzionamento.

Desiderando aumentare ancora il rendimento e togliere la « reazione » dal circuito di aereo, si può sintonizzare il primo stadio con un condensatore. Occorre allora costruire un altro trasformatore con avvolgimenti analoghi a quelli di sintonia. È preferibile fare sintonizzato il secondario accoppiandogli poi strettamente il primario. Allo stesso secondario va poi variamente accoppiata la reazione che ruota di 180° all' interno in modo da potere, volendo, funzionare direttamente o inversamente. Con questo artificio si ha il vantaggio di potere costantemente « *stabilizzare* » il ricevitore di quel tanto *appena* necessario per impedire l'innesco di oscillazioni locali e quindi di mantenerne massima la sensibilità.

Usando un condensatore di 0,5 millimicrofarad i valori dei primari e secondari per varie lunghezze d'onda sono dati dalla tabella che suppone un avvolgimento cilindrico del diametro di 8-10 cm.

Metri	P	S	Q
250 — 700	25	50	50
600 — 2000	80	120	120
1500 — 4000	200	300	300
4000 — 8000	400	500	600

Con un primo stadio di questo genere, seguito da due stadi a trasformatori semi-aperiodici ben tarati, è possibile ottenere una sensibilità difficilmente superabile.

Si potrà tentare ancora, una volta che il tutto funzioni egregiamente, di accoppiare, in modo fisso, delle piccole bobine di reazione, inserite in R, R' o R'' ai vari stadi o al circuito di sintonia sia come stabilizzatrici (invertite), sia nel senso normale; ma questo entra nella ricerca esperimentale che può essere iniziata con l'insieme descritto.

L' amplificazione a resistenze si ottiene mettendo al posto dei trasformatori un piccolo gruppo a quattro spine che porta contemporaneamente le resistenze *R* ed *r*, e il condensatore *C* (fig. 138). L' uso di uno stadio di questo genere può essere utile nel caso di onde lunghe per semplificare la costruzione; è tuttavia raccomandabile inserirlo immediatamente prima del detector affinchè l' eventuale « raddrizzamento » da esso effettuato non riesca nocivo.

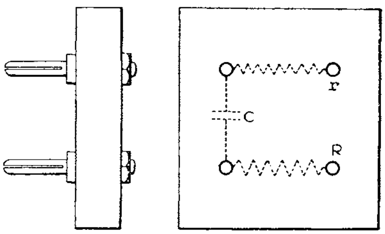


Fig. 138.

L' amplificazione ad induttanze è pure facilmente realizzabile.

Occorre naturalmente un condensatore variabile in parallelo sulla induttanza costruita con le stesse caratteristiche di quella di sintonia. Il condensatore *C* e la resistenza *r* sono analoghi a quelli già notati per l' amplificazione a resistenze.

I condensatori variabili, ai quali abbiamo via via accennato, possono essere separati dall' apparecchio e inseribili a piacere nel primo periodo di prove (per realizzare una notevole economia d' impianto) e una volta trovato il funzionamento migliore fissati definitivamente. Chi desiderasse invece assicurare la completa universalità all' istrumento può fissare un condensatore in corrispondenza di ogni piano di amplificazione, il quale possa *con le più corte connessioni possibili* essere inserito sul primario, sul secondario, o lasciato inattivo.

Posso assicurare con certezza che questo montaggio esperimentale in mani adatte, permette di « *sviluppare* » tipi di ricevitori superiori a quelli comuni della pratica.

Amplificatore per onde medie. — È un insieme ricevitore completo per onde da 200 a 800 metri derivato con uno studio esperimentale sul primo, ed è indicato specialmente per la ricezione telefonica. Infatti, se ben costruito, permette di *veramente apprezzare* le emissioni musicali lontane. Esso consta di due lampade amplificatrici *AF*, del raddrizzatore e due amplificatrici *BF* montate secondo il circuito della fig. 139, che è già noto al lettore.

Il condensatore di sintonia è di 500 $\mu\mu$f e la bobina secondaria si costruisce, avvolgendo su un tubo di cartone secco, 70 spire di filo comune da campanelli, tenuto a posto per tensione delle spire e non con vernice.

Il primario si avvolge con lo stesso filo (10 s.) su un tubo di

cartone che possa entrare nel primo e durante il funzionamento si

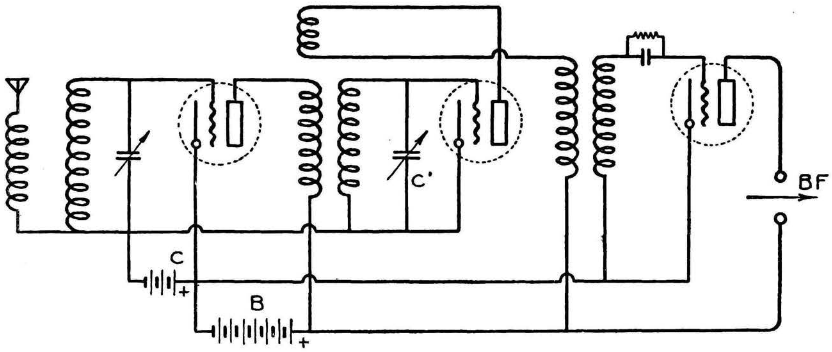


Fig. 139.

trova per tentativi la sua migliore posizione nell' interno del secondario.

Il trasformatore intermedio è avvolto pure su tubo di cartone e con lo stesso filo. Il primario (25 s.) è posto al centro del secondario (50 s.). La bobina di reazione o stabilizzatrice può ruotare di 180° ad un estremo del secondario ed è avvolta con 30-50 spire di filo di 5-6 decimi mm. Il numero migliore di spire si trova per tentativi durante le prove ed è quello per il quale è possibile impedire e regolare l'innesco di oscillazioni in tutta la gamma desiderata. Il condensatore in parallelo al secondario è analogo a quello di sintonia. Il secondo trasformatore si costruisce nel modo già descritto (vedi pag. 121) facendolo risuonare nei pressi di 400 metri circa. Sulla griglia del raddrizzatore si inserisce il solito condensatore fisso shuntato da una resistenza possibilmente variabile e si fanno quindi

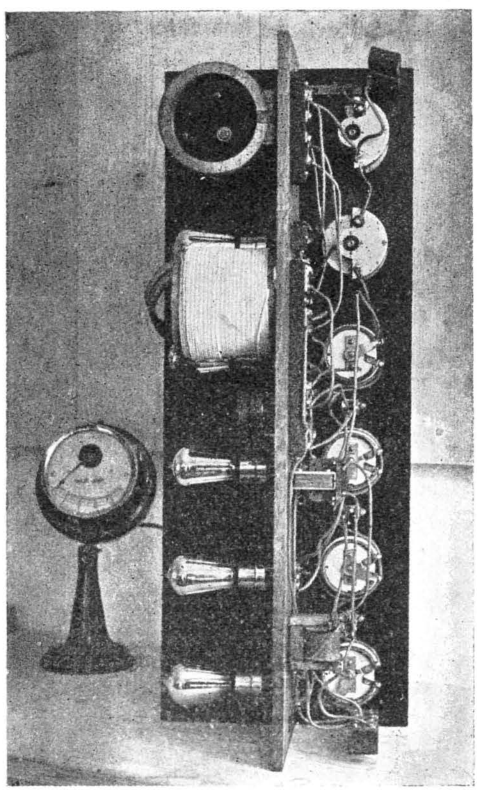


Fig. 140.

seguire due stadi di amplificazione *BF* analoghi a quelli descritti a pag. 148.

Il tutto si monta con la solita cura abbondando nelle dimensioni. (La fig. 140 mostra l'insieme ancora in uno stadio esperimentale). Si toglie la batteria *C* e si mettono in corto circuito i rispettivi serrafili, quindi si procede alle prime prove. Si accoppia la reazione nel senso normale (innesco) e si varia *C'* fino a ritrovare l'emissione. (In questo caso il primo stadio determina soltanto l'accoppiamento con l'aereo). Si diminuisce l'accoppiamento reattivo variando contemporaneamente il condensatore di sintonia fino ad ottenere la massima sensibilità e si ritocca eventualmente *C'*. La manovra richiede un pò di esercizio, ma è estremamente semplice e *positiva*. Si può infine cercare un ulteriore miglioramento, inserendo la batteria *C* (da 2 a 6 volts) se l'apparecchio è ancora stabile. L'intensità di ricezione è pressochè costante su tutte le emissioni (lontane e vicine) quando si usa un'antenna. Alcune emissioni possono udirsi in altisonante usando la sola bobina di sintonia come collettrice, mentre la ricezione con quadro da 30 a 60 cm. di lato è più che soddisfacente (1).

Amplificatore a un solo stadio. — È pure derivato dal primo amplificatore esperimentale e sfrutta un sistema originale di stabilizzazione: esso ottiene il disinnesco delle oscillazioni locali variando la resistenza del circuito d'aereo con un metodo molto semplice, e cioè inserendo un condensatore variabile sull' aereo stesso (fig. 141) (2).

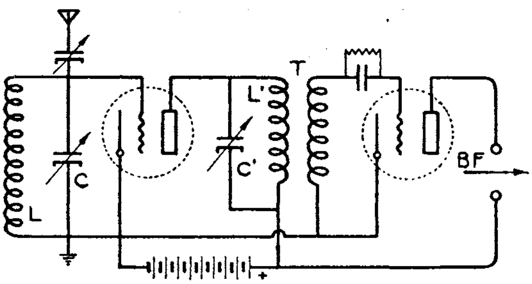


Fig. 141.

Quando i due circuiti *L* ed *L'* sono accordati si ha innesco di oscillazioni locali per il « ritorno » attraverso le capacità interne della lampada.

Ora ciò succede finchè la resistenza *AF* di *L* è piccola, cioè quando la bobina è isolata o collegata ad una corta antenna.

Se invece la uniamo ad una antenna molto lunga le oscillazioni si

(1) Quando si usano tensioni elevate è bene che il detector abbia una presa placca intermedia.
(2) Brev. dell'A.

spengono. Ora con un condensatore variabile in serie su un' antenna di almeno 20 metri e oltre, possiamo ottenere il graduale disinnesco delle oscillazioni, e quindi portarci al massimo rendimento. Il condensatore *C'* è analogo a *C* (500 μμf generalmente) e il trasformatore *T* è del tipo semi-aperiodico, analogo a quelli già descritti. La esperienza mi ha provato che le sue caratteristiche sono piuttosto critiche per

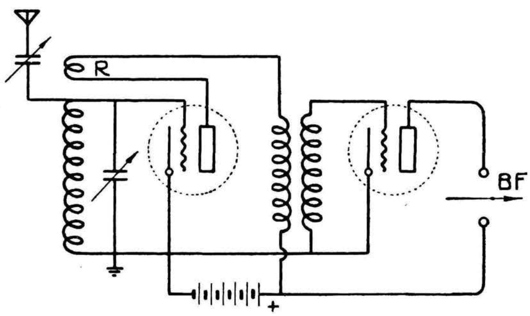


Fig. 142.

assicurare una gamma relativamente vasta di lunghezza d' onda, quindi è consigliabile invece di eseguire la taratura col metodo indicato a pag. 121, di trovare, addirittura in circuito, quali sono i migliori valori del primario e del secondario. Per funzionare su onde da 200 a 600 metri si può incominciare con 150 e 300 spire rispettivamente bobinate su un cilindro simile a quello della fig. 137. Il rendimento è molto elevato e la ricezione pura e sintonica.

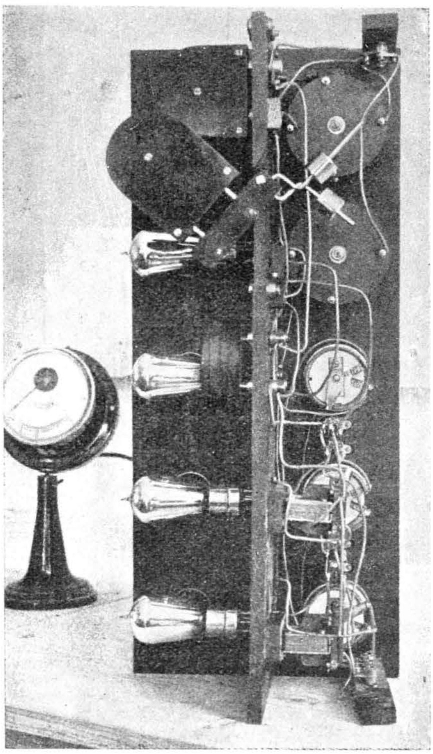


Fig. 143.

Essa è possibile anche con antenna di qualche metro di lunghezza sebbene allora per ottenere il disinnesco occorra disaccordare il primario del trasformatore e quindi diminuire il rendimento.

Amplificatore a reazione. — È un apparecchio per onde superiori a 300 metri ed è la prima derivazione pratica dal montaggio sperimentale. Esso ha lo svantaggio di avere la reazione sul circuito d' aereo,

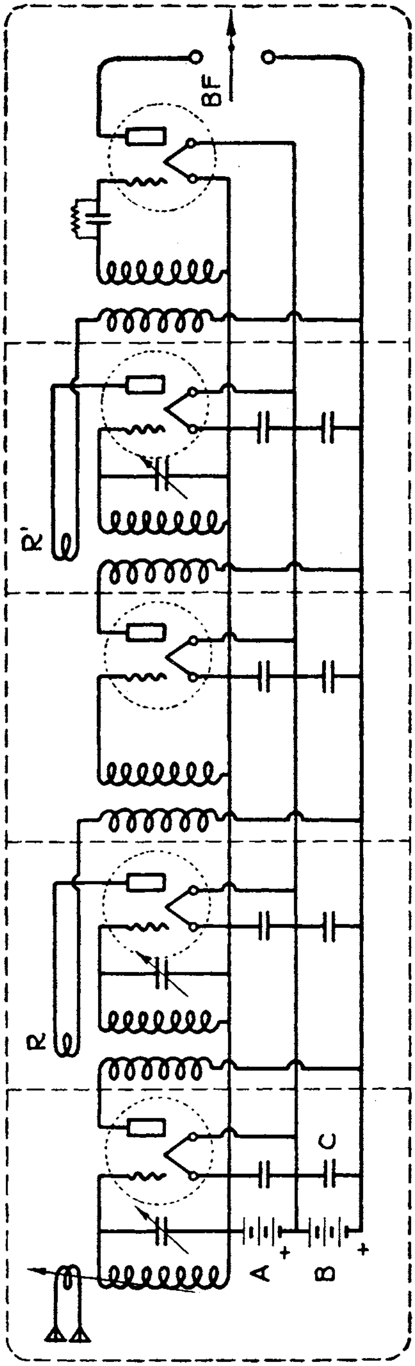


Fig. 144.

ma d'altra parte permette una ricezione molto intensa, leggermente maggiore di quella del tipo già considerato se pur meno pura e più disturbata dai rumori parassiti.

La sua costruzione non richiede alcun schiarimento all'infuori dello schema delle connessioni (fig. 142). La fig. 143 mostra anche la fotografia di un ricevitore completo di questo genere.

Amplificatore a quattro stadi. — È un ricevitore per onde da 200 a 600 metri di sensibilità estrema, ma di costruzione molto delicata.

La sua principale caratteristica è quella di avere tutti i piani di amplificazione protetti con involucri metallici per evitare le reazioni reciproche fra le varie parti.

L'insieme consta di ben quattro lampade amplificatrici ad *AF* prima del rivelatore, accoppiate fra loro col circuito della figura 144.

Esso è formato accoppiando due amplificatori del secondo esempio, quindi le caratteristiche delle induttanze e dei condensatori sono le stesse. Occorrono tre condensatori variabili che si accoppiano su uno stesso asse. All'uopo, anche se le loro capacità sono uguali, è necessario aggiungere due piccoli condensatori (vernieri) in parallelo sul secondo e terzo condensatore per *equilibrare* l'insieme durante le prime prove. Le bobine di reazione *R* ed *R'* funzionano quasi sempre in senso invertito (da stabilizzatrici),

quindi data la grande sensibilità dell'amplificatore possono mantenersi fisse. In questo caso il regolaggio si effettua *con una sola manovra*. Le capacità C possono avere qualsiasi valore oltre i 2 millimicrofarad e sono indispensabili per eliminare eventuali correnti AF fra stadio e stadio.

La messa a punto dell'apparecchio è *molto laboriosa* e può essere tentata con successo soltanto da persone esperimentate. Le particolari condizioni che si presentano caso per caso influiscono in modo molto notevole sulle caratteristiche di funzionamento; quindi è spesso indispensabile variare i valori delle induttanze (diminuzione delle spire primarie ecc.) per potere stabilizzare l'amplificatore. I risultati che si ottengono con pazienza e tenacia, superano però di gran lunga la fatica spesa.

Amplificatori a bassa frequenza. — Per correnti a frequenza udibile si usano gli stessi sistemi di amplificazione, e cioè a trasformatori, ad induttanze o a resistenze. Il rendimento e la stabilità sono tuttavia superiori che nel caso di alte frequenze.

Il circuito a trasformatori è il più usato nella pratica, perchè permette una amplificazione maggiore di quella ottenibile con altri sistemi.

È praticamente impossibile evitare che il trasformatore BF non presenti una certa « risonanza » per la quale, la traslazione di potenziale alla griglia successiva è massima per una data frequenza o gamma di frequenze. Ciò può esprimersi con una curva analoga a quella dei trasformatori AF, la ripidezza della quale cresce col rapporto di trasformazione. Nel caso della ricezione telegrafica una curva molto acuta è vantaggiosa, perchè è sempre possibile (metodo dei battimenti) ridurre la nota del segnale rivelato all'altezza necessaria, così che l'effetto amplificatore BF sia massimo.

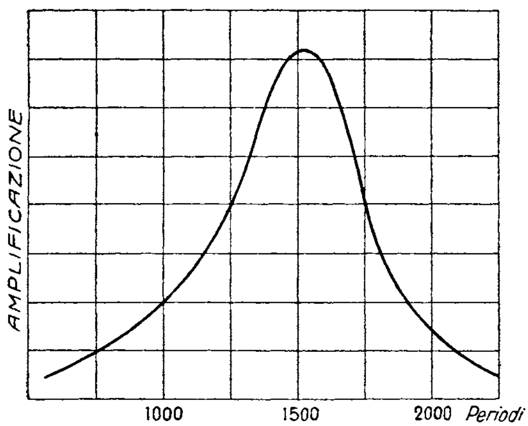


Fig. 145.

Usando un trasformatore BF di caratteristiche simili a quelle della fig. 145, si ottiene un'ottima amplificazione del segnale quando la frequenza di questo è portata a 1500 periodi, col vantaggo di una amplificazione

molto minore di rumori estranei o interferenze a frequenze differenti (v. 6° cap.).

Ma una delle applicazioni più vaste del trasformatore *BF* è riservata alla amplificazione di correnti a frequenza udibile (telefoniche), cioè da 20 a 10000 periodi.

In questo caso, un trasformatore che presenti una curva analoga a quella della fig. 145, permettendo di amplificare in modo apprezzabile soltanto alcune frequenze e rispondendo in grado minore o non rispondendo affatto alle altre, determina una riproduzione mancante e imperfetta, che viene detta *distorta.*

problema della distorsione è uno dei più importanti nella ricezione radio-telefonica, ed è specialmente connesso alla amplificazione *BF*, che ne è la causa principale. Si sono studiati (e si continuano a studiare) trasformatori speciali, presentanti una curva caratteristica molto appiattita, con risultati abbastanza notevoli.

Sotto questo punto di vista è preferibile l'amplificazione ad induttanze o a resistenze che è costante in tutta la gamma di frequenze udibili, come può facilmente dedursi dalla fig. 146, che mostra le curve caratteristiche dei tre sistemi, e nella quale la curva del trasformatore è quella ottenuta dai migliori trasformatori in commercio.

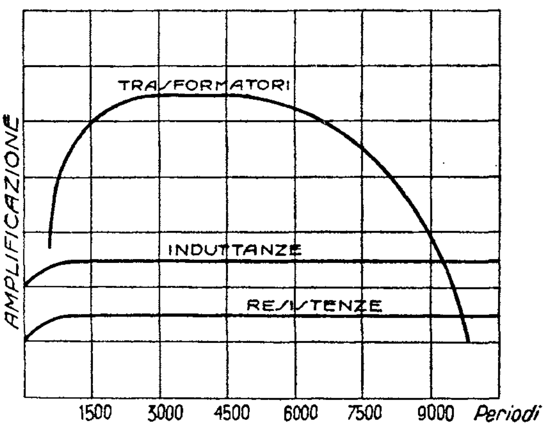


Fig. 146.

L'amplificazione, alla stessa guisa delle altre, di frequenze molto basse, porta con sè la riproduzione delle note basse di orchestra o del canto, mentre quella di frequenze molto alte, la riproduzione del timbro particolare dei vari suoni ed istrumenti e specialmente della voce, determinando la naturalezza del tono che manca molto spesso nella ricezione telefonica (1).

(1) Ciò si prova facilmente ascoltando (con un telefono o un altisonante) una corrente *BF* amplificata che riproduca un discorso qualunque. *Se occorre fare il più piccolo sforzo mentale per seguire il discorso stesso* (le parole del quale segnite ad una ad una, possono essere anche perfettamente chiare) *si è sicuri che la riproduzione è distorta.* Ciò è in parte dovuto al riproduttore stesso e cioè al telefono e specialmente all'altisonante.

Si è anche ricorso all'amplificazione *BF* con due triodi in opposizione con buoni risultati, ma la convenienza del sistema resta però sempre limitata poichè richiede due triodi per ogni piano d'amplificazione.

Gli amplificatori ad induttanze e a resistenze, danno un rendimento molto minore di quello a trasformatori e ciò è la principale caratteristica che limita la loro diffusione. I due tipi sono analoghi come funzionamento, ma il primo è quasi sempre preferibile perchè richiede una tensione di placca molto minore del secondo, che alla sua volta presenta il vantaggio di economia del materiale impiegato. Il numero di stadi può essere molto numeroso e con triodi di potenza via via crescente (v. 4ª parte), ma nella pratica usuale, *di ricezione telefonica,* esso viene limitato a due nel caso a trasformatori e a tre, quattro negli altri casi essendo ciò sufficiente ad assicurare le più intense ricezioni.

Disponendo di alto parlanti speciali e potenti si possono combinare i vari sistemi come vedremo in seguito. L'uso di un potenziale di placca elevato dà generalmente una riproduzione migliore: in questo caso occorre però portare le griglie a un potenziale sufficientemente negativo a mezzo di una piccola batteria di pile.

Molti trasformatori del commercio presentano l'inconveniente di una breve durata: infatti dopo un certo periodo di funzionamento, si nota una interruzione nel circuito primario. Si dice allora che il trasformatore è « bruciato » ma la parola è impropria, poichè anche applicando una tensione eccessiva la corrente attraverso l'avvolgimento non supererebbe mai qualche milliampere insufficiente non solo a fondere, ma soltanto a riscaldare percettibilmente il filo adottato.

La cosa è ancora piuttosto oscura: la si è attribuita al rame, allo smalto che lo ricopre, alla paraffina che spesso è presente nella costruzione, ad assotigliamenti della sezione in qualche punto, ma tutto ciò appare incerto quando si pensi che l'interruzione si verifica 99 volte su cento, nel circuito primario dove passa quindi la corrente *continua* di placca.

Il modo nel quale si verifica l'interruzione può forse meglio di ogni altra cosa suggerire la probabile verità.

Si nota al telefono inserito nel circuito del trasformatore prossimo ad essere « *bruciato* » una serie di rumori, e scoppiettii molto simili a quelli forniti da un ricevitore influenzato da forti scariche atmosferiche o da interferenze locali.

Questi rumori aumentano giorno per giorno finchè succede l'interruzione. È ora probabile che questa si effettui a cagione di veri e propri fenomeni elettrolitici fra spire adiacenti a cagione della corrente continua

che le percorre. L'avvolgimento con filo isolato in seta, anzichè smaltato, sembra diminuire questa probabilità.

Spesso si può migliorare la qualità della riproduzione, inserendo dei condensatori fissi sui secondari dei trasformatori, diminuendo quindi il loro periodo di risonanza. Le capacità variano da 2 a 5 millesimi di microfarad; non è consigliabile sorpassarle per l'abbassamento di potenziale che determinerebbero.

L'amplificatore a *BF*, specialmente se a trasformatori, ha spesso tendenza ad oscillare, producendo correnti alternate a frequenza udibile che impediscono e rendono instabile il funzionamento. Si rimedia a ciò mettendo dei condensatori fissi sui primari (2-3 muf) e collegando tutti i nuclei fra loro e quindi al filamento delle lampade. Generalmente però un amplificatore a trasformatori a due lampade, se ben costruito non deve presentare questi inconvenienti e così quello ad induttanze o resistenze anche con un numero maggiore di stadi.

Analogamente a quanto si è fatto nel caso dell'amplificazione *AF* ecco alcuni esempi di costruzione esperimentale.

Amplificatore BF a trasformatori. — È un amplificatore a trasformatori a due stadi, adatto per essere montato dopo un raddrizzatore qualunque. I trasformatori si montano con vantaggio ad angolo retto uno rispetto all'altro a meno che non siano protetti in custodia metallica (*magnetica*).

Si usa generalmente fare alto il rapporto di trasformazione del primo trasformatore e più basso quello del secondo. Ciò permette una migliore riproduzione, ma un minor rendimento; quindi allorchè si dispone di un *buon* trasformatore, è più conveniente mantenere un rapporto medio e unico. Questo, a seconda della costruzione, è praticamente fissato fra $^1/_3$ e $^1/_4$ sebbene il rendimento sia ancora buono con rapporti anche minori ($^1/_2$). *Quando si può fare sicuro affidamento* sulla qualità di un trasformatore, è più conveniente acquistarlo dal commercio piuttosto che tentarne da sè la costruzione.

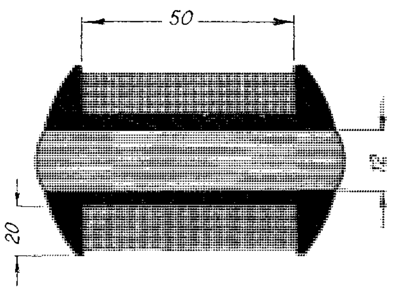


Fig. 147.

Un trasformatore che ha una curva caratteristica molto appiattita (rendimento leggermente minore ma riproduzione ottima) può essere facilmente costruito bobinando su un rocchetto di legno (dimensioni della fig. 147) un primario e quindi un secondario rispettivamente di 7000 e

20000 mila spire con filo di rame molto sottile ($^{7}/_{8}$ centesimi mm.) e realizzando il nucleo (aperto) con sottili fili di ferro ricotto spalmati di gomma lacca.

Questo tipo di trasformatore, usato nei primordi dell'amplificazione *BF*, è ancora uno dei migliori nei riguardi della fedeltà di riproduzione.

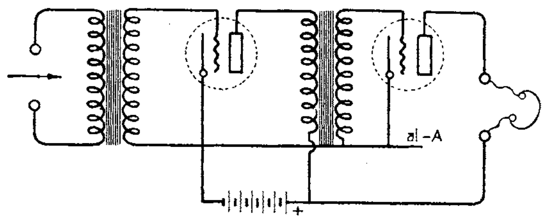


Fig. 148.

La sistemazione dei collegamenti non presenta alcuna difficoltà ed è fatta secondo il circuito della fig. 148. Le « fini » degli avvolgimenti primari e secondari vanno unite alle placche e alle griglie rispettivamente. Il reostato può servire ma non è indispensabile. Desiderando avere un regolatore che permetta di diminuire l'intensità della ricezione (p. e. durante la ricezione da stazioni locali) si può inserire una resistenza variabile (mass. 2500 ohms) sul secondario di un trasformatore, piuttosto che diminuire l'accensione che determina quasi sempre una riproduzione distorta.

Amplificatore BF a induttanze. — È completamente privo di distorsione e il suo potere amplificatore è analogo a quello di un amplificatore a trasformatori a due stadi.

Il circuito (v. fig. 149) si realizza praticamente senza alcuna difficoltà.

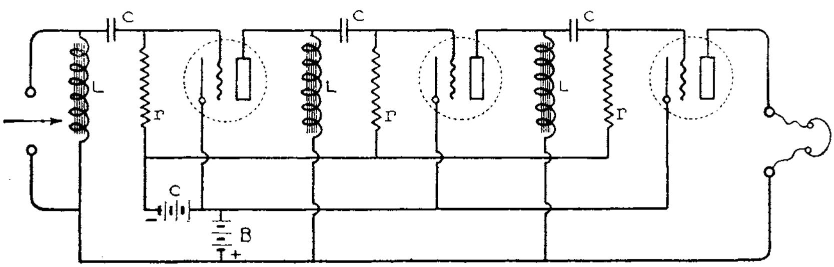


Fig. 149.

Le induttanze sono tutte identiche e si costruiscono con un avvolgimento a filo sottile su nucleo di ferro. Si possono utilizzare con buoni risultati vecchi trasformatori *BF*, usando uno dei loro avvolgimenti. Il numero delle spire varia da caso a caso e a seconda delle lampade impiegate, ma non è critico (8-10 mila è un valore conveniente). Una costruzione

più razionale si ottiene eseguendo alcune prese variabili sull'induttanza dividendola quindi in sezioni che si includono più o meno a seconda del triodo usato (p. e. in 4 sezioni rispettivamente di 4, 6, 8, 10 mila spire).

I condensatori *C* hanno una capacità da 3 a 5 millimicrofarad, mentre il valore delle resistenze *r* si trova per tentativi a seconda della lampada e della tensione placca usata.

Esso varia generalmente da 0.5 e 3 megaohms.

La batteria di griglia *C* è molto utile specialmente se la tensione placca è elevata. Essa può essere racchiusa nell'interno dell'istrumento dopo le prime prove e il suo valore varia generalmente da 2 a 10 volts.

Questo amplificatore può sopportare una tensione placca molto elevata (oltre 200 volts) senza alcun danno (specialmente se le induttanze si sono costruite da se con isolamento accurato) e in questo caso il suo rendimento è di gran lunga superiore a quello del tipo a trasformatori del primo esempio.

Senza eccessive difficoltà si può fare seguire un quarto e anche un quinto stadio di amplificazione, ma in quest'ultimo caso è preferibile il montaggio del quarto esempio.

Amplificatore a resistenze. — Ha le stesse caratteristiche di quello ad induttanze (rendimento soltanto leggermente inferiore) ma ha lo svantaggio di richiedere una tensione placca più che doppia.

Il circuito è identico al precedente con la differenza che al posto delle induttanze occorre inserire resistenze da 30 a 70 mila ohms a seconda delle lampade e della tensione placca disponibile. È di costruzione molto economica.

Amplificatore misto. — Esso utilizza tanto il sistema a trasformatori che quello ad induttanze e si presta a fare funzionare grandi alti-

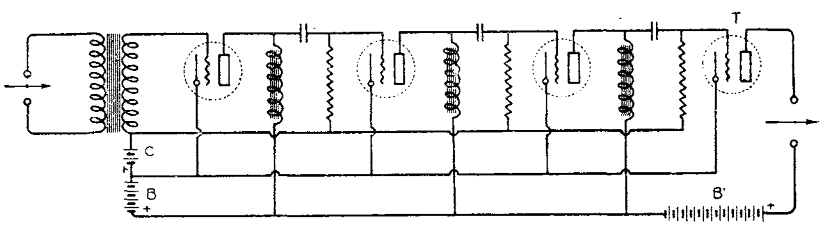


Fig. 150.

sonanti in vasti locali o all'esterno. Il primo stadio è a trasformatori (rapporto 1 a 3) quindi seguono tre stadi ad induttanze l'ultimo dei

quali contiene una piccola lampada da trasmissione o un gruppo di riceventi in parallelo con tensione elevata di placca (fig. 150). Nessuna precauzione speciale è necessaria se non una buona spaziatura fra le varie parti e un isolamento accurato dell'ultima induttanza. Chi desiderasse un amplificazione ancor maggiore può riferirsi a quella microfonica esaminata nel capitolo 5° della 4ª parte.

Sistema in opposizione. — È il circuito con due triodi in opposizione abbastanza usato per rendere minima la distorsione. (Esso viene distinto spesso col nome di: « push-pull » dall'inglese). Occorrono trasformatori speciali bobinati con esatta simmetria e il montaggio si effettua secondo il circuito della fig. 151.

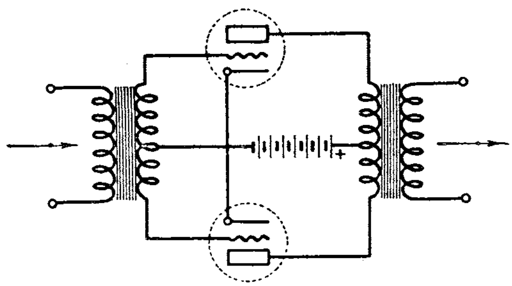


Fig. 151.

Il secondario del trasformatore d'entrata ha una presa al centro collegata ai filamenti mentre le estremità sono collegate alle due griglie; il potenziale impresso su queste è quindi in opposizione di fase. Di qui il nome del sistema.

Le correnti di placca pure in opposizione, generate dai due triodi si compongono in un secondo trasformatore T' che ha un primario con presa centrale il secondario del quale, è inviato al circuito di utilizzazione. I due principali pregi del sistema, sono la eliminazione di armoniche nocive generate dai singoli audion (che arrivando in opposizione di fase nel primario di T' si annullano), e la distorsione minore risultante dall'essere il carico totale diviso in due parti sui due triodi. Le caratteristiche delle lampade e dei trasformatori debbono essere identiche rispettivamente per ottenere i migliori risultati. Il rendimento è equivalente a quello di due lampade *in parallelo* quindi l' istrumento serve specialmente quando è necessaria una potenza amplificata relativamente alta.

Esso è molto raccomandabile come ultimo stadio di amplificazione in tutti gli esempi precedenti.

CAPITOLO III.

AMPLIFICATORI NEUTRALIZZATI E RIFLESSI

Il sistema di neutralizzazione. — Un audion può mantenere delle oscillazioni quando il suo circuito di griglia sia percorso da una corrente *AF* che « ritorna » dal circuito placca, attraverso le capacità interne della lampada e ciò costituisce, come già si è notato, il principale difetto degli amplificatori *AF*.

La differenza fra i metodi già esaminati per rimediare a questo, e il sistema della neutralizzazione, è la seguente: i primi, introducendo perdite, resistenze ecc. fanno sì che il circuito non possa oscillare sotto l' azione della corrente che « ritorna »; il secondo elimina questa corrente *prima ancora che essa raggiunga il circuito in parola*, analogamente al sistema a reazione invertita (v. pag. 114).

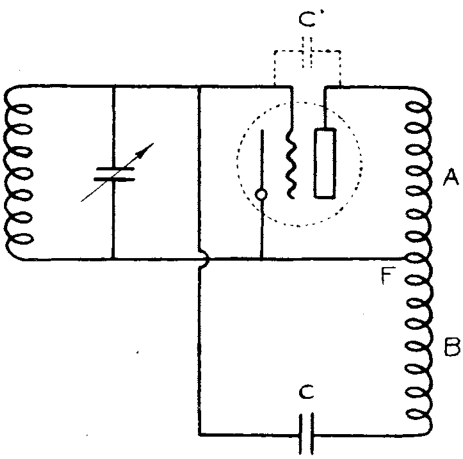


Fig. 152.

La corrente *AF* che « ritorna » è infatti sollecitata da una certa tensione di adatta fase; se si sovrappone a quest' ultima una seconda tensione di fase opposta e di valore identico, la risultante è nulla e quindi nessuna corrente può passare, perchè nessuna tensione la sollecita.

Per ottenere uno sfasamento di 180° (opposizione di fase) si utilizza un principio ben noto che può enunciarsi elementarmente così: La f. e. m. indotta in un circuito strettamente accoppiato ad un altro è sfasata di 180° sulla f. e. m. inducente.

Nella fig. 152 le due sezioni *A* e *B* realizzano infatti i due circuiti accoppiati e quindi le due f. e. m. agli estremi sono esattamente in opposizione. Ora l'induttanza *AB* può schematicamente rappresentarsi

come inserita fra placca e griglia attraverso il condensatore C (fig. 153) e semplificando, addirittura inserita sulla griglia stessa attraverso i condensatori C e C', essendo quest'ultimo rappresentato dalla capacità griglia placca della lampada (fig. 154).

Se i due rami FA ed FB sono esattamente ed elettricamente uguali. per ottenere sulla griglia G, due potenziali di identico valore (natural-

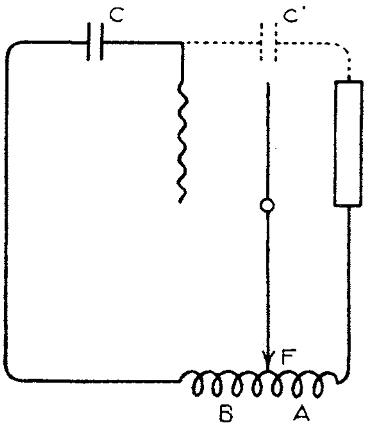


Fig. 153.

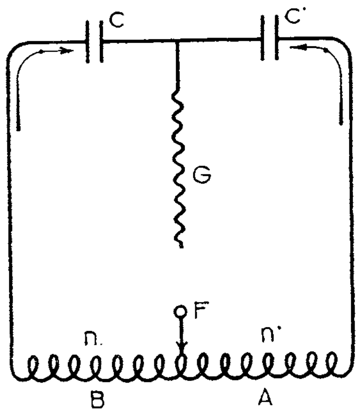


Fig. 154.

mente in opposizione) occorre che i condensatori C e C' siano identici.

Ma possiamo ottenere lo stesso risultato in caso di dissimetria, variando o la presa F sull'induttanza o il valore del condensatore C, quando si usi la relazione « $N' : N = C : C'$ », dove i numeri N' e N rappresentano le spire delle rispettive sezioni A e B. Questo artificio è importante in pratica, perchè il circuito BFA può essere costituito da un trasformatore ed un rapporto differente da *uno* fra primario e secondario può alle volte riuscire utile. La capacità di C è allora data da C'/R, essendo R il rapporto di trasformazione degli avvolgimenti.

Due avvolgimenti in senso contrario (come A e B) e molto accoppiati presentano anche un certo accoppiamento per via *capacitativa* (attraverso la loro capacità mutua), accoppiamento che varia con la frequenza e che è praticamente impossibile evitare.

Questo accoppiamento fa si che lo sfasamento della f. e. m. indotta anzichè essere in perfetta opposizione lo sia più o meno, in dipendenza della frequenza, e quindi anche il funzionamento degli amplificatori neutralizzati non è ugualmente efficiente in una vasta gamma di frequenze.

La causa principale dell'accoppiamento per capacità è dovuta alla

vicinanza degli avvolgimenti, necessaria affinchè l'accoppiamento magnetico sia il massimo possibile (v. pag. 17).

In pratica si cerca una via di mezzo fra queste due necessità così opposte, adottando un primario ed un secondario *avvolti nello stesso senso* e collegando l'insieme come alla fig. 155.

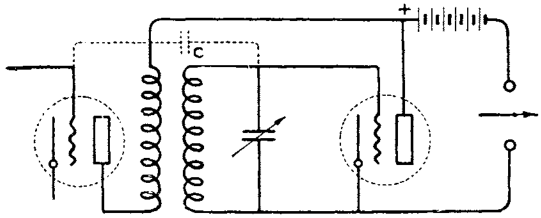


Fig. 155.

Una volta neutralizzato l'amplificatore, è possibile ricorrere ad uno degli usuali metodi di reazione per aumentarne la sensibilità ed eventualmente per ricevere onde persistenti.

Fra i vari sistemi sembra migliore quello di accordare il circuito placca del raddrizzatore, poichè eseguendo la reazione sul trasformatore si verrebbe a variarne le caratteristiche (fig. 156).

A proposito di effetti reattivi fra le varie parti (collegamenti, induttanze ecc.) è bene tener presente che essi hanno influenza su un ampli-

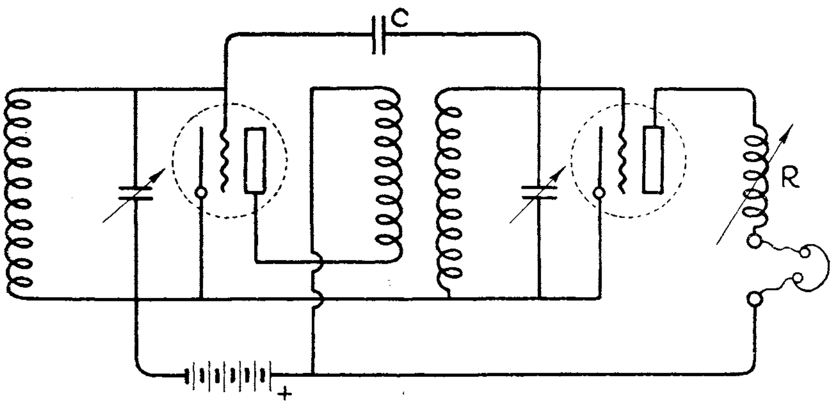


Fig. 156.

ficatore neutralizzato come su un altro qualunque e quindi occorre evitarli o ridurli al minimo.

Senza ricorrere addirittura a schermi metallici (che pur dando i migliori risultati, debbono essere usati con particolari cautele) è quasi sempre sufficiente abbondare nello spazio per avere un buon rendimento. L'inventore del sistema (Hazeltine), nel suo primo apparecchio sistemò

obbliquamente le varie induttanze, allo scopo di ridurre l'accoppiamento magnetico fra le stesse.

Vari costruttori misurarono allora *con precisione* l'angolo che queste induttanze facevano con la verticale (il quale era di 54,7 gradi) e lo adottarono senz'altro. Di qui l'usanza molto diffusa di credere che per ottenere buoni risultati occorra inclinare le varie induttanze di un angolo determinato; cosa naturalmente assurda se pure una certa inclinazione riesca utile in pratica.

Riepilogando ricordiamo che nella costruzione di un amplificatore neutralizzato occorre che:

L'accoppiamento fra stadio e stadio sia a trasformatori.

Quello fra primario e secondario il massimo possibile.

La capacità mutua dei due avvolgimenti minima.

La sistemazione atta a ridurre al minimo eventuali effettivi reattivi, sia per capacità che per induzione.

L'amplificazione fornita da un apparecchio ben costruito è notevole, i rumori parassiti non sono intensi e la ricezione è pura e gradevole.

Tuttavia comincia a farsi strada l'opinione che un apparecchio non neutralizzato, ma stabilizzato con mezzi razionali e scrupolosi sia ancor migliore se pur la cura necessaria per una simile realizzazione, rappresenti uno svantaggio apprezzabile specialmente nelle costruzioni in serie, dove con l'inserzione di qualche capacità è possibile equilibrare facilmente differenze che renderebbero incerto il funzionamento.

Amplificatore neutralizzato a due stadi. — La costruzione di un amplificatore neutralizzato è analoga a quella di un amplificatore a trasformatori qualunque, se si eccettua la forma speciale di questi, la loro sistemazione e l'aggiunta delle capacità neutralizzanti.

L'apparecchio che ora descrivo è il montaggio classico cui fu imposto il nome di « *neutrodina* » per contrapposto al simile *eterodina* essendone le caratteristiche diametralmente opposte. Esso è stato da me esperimentato con buoni risultati.

I trasformatori *AF* si avvolgono su tubo di cartone con filo di rame con due o tre coperture di cotone (filo da campanelli p. e.) e per evitare una eccessiva capacità mutua fra primario e secondario si procede nel seguente modo: supposta una gamma da coprire da 250 a 600 metri si avvolgono su un cilindro di 8-10 cm. di diametro 60 spire *senza fissarle con alcuna vernice*; su questo avvolgimento se ne infila un secondo di 15 spire su un tubo di diametro sufficiente per essere

separato dal primo a mezzo di piccole asticciole di ebanite o legno (fig. 157).

Il materiale impiegato deve essere identico per tutti i trasformatori (tubi, filo ecc.), e così la lunghezza degli avvolgimenti. In questo modo se si realizza il circuito d'entrata con un trasformatore analogo agli altri e se si usano condensatori identici, le varie indicazioni di questi sono simili fra loro, facilitando la manovra.

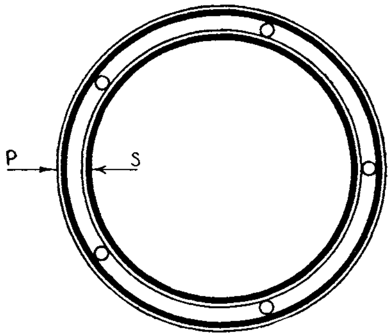


Fig. 157.

La fig. 158 rappresenta appunto l'insieme dei collegamenti dei due piani di amplificazione e del raddrizzatore.

Per diminuire gli effetti reattivi reciproci, le induttanze possono montarsi inclinate anzichè verticalmente, o essere poste a distanza notevole o schermate con lastre metalliche fra

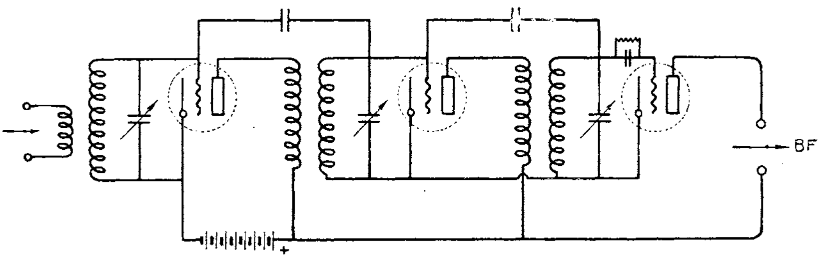


Fig. 158.

stadio e stadio e in questo caso occorre badare che lo schermo non sia immediatamente vicino a parti dell'insieme (5-10 cm. almeno).

Poichè il rapporto di trasformazione è un quarto, la capacità di neutralizzazione deve essere *quattro volte minore di quella della lampada.*

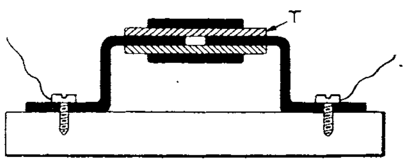


Fig. 159

Ciò richiede una forma speciale del condensatore che si costruisce facilmente sistemando due fili metallici (diametro 2-3 mm.) come alla fig. 159 e ricoprendoli quindi con un tubetto che li mantenga alla distanza di 5-6 mm.

Sul tubetto isolante un piccolo tubo metallico, che può scorrere a sfregamento, serve a regolare la capacità del condensatore.

Un altro sistema semplice e molto usato è quello di attorcigliare fra loro due fili isolati (fig. 160), così che la capacità possa regolarsi

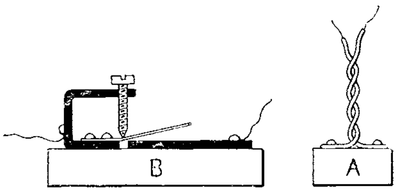


Fig. 160.

aumentando o diminuendo l'attorcigliamento. In questo caso è bene usare del filo relativamente grosso ricoperto con un tubetto di tela (*sterling*), per assicurare la stabilità.

Un tipo di condensatore pure molto semplice si può costruire con due laminette metalliche di un centimetro di larghezza che possono sovrapporsi per 2-3 cm. a distanza variabile a mezzo di una vite (fig. 160 *B*).

Le connessioni brevi e rigide vanno particolarmente curate, poichè un funzionamento perfetto dipende da una capacità dell'ordine del milionesimo di microfarad, e qualsiasi piccola variazione della medesima può variare entro grandissimi limiti le proprietà generali dell'apparecchio.

Amplificatore neutralizzato a tre stadi. — È un amplificatore-ricevitore analogo al precedente, ma più perfezionato e molto facile a regolare. Il circuito è quello della fig. 161 e differisce dal precedente per avere la capacità neutralizzante derivata ad un certo punto

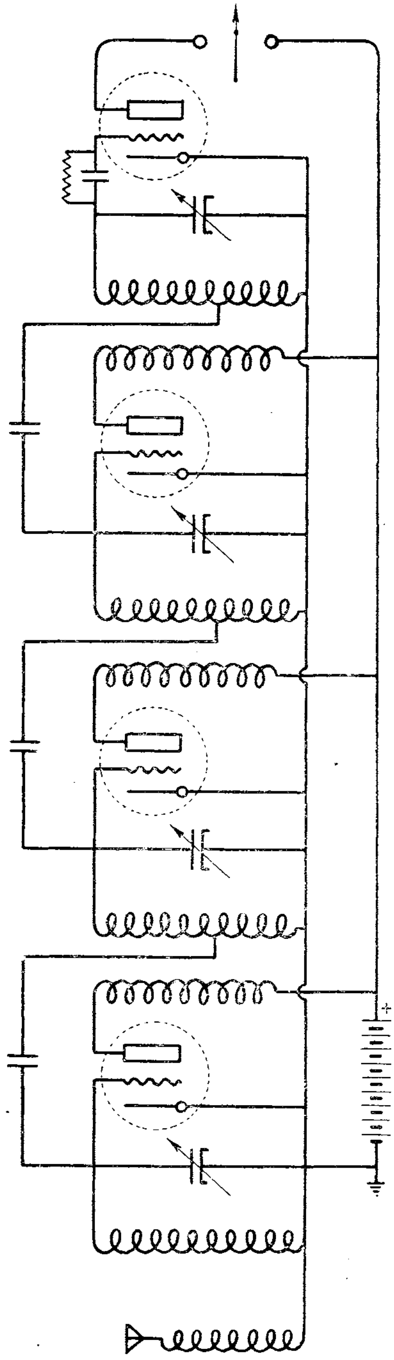


Fig. 161.

dell'avvolgimento secondario e per avere un piano di più di amplificazione *AF*.

Per aumentare la selettività i primari dei trasformatori sono ridotti a 8-10 spire, mentre i secondari vengono mantenuti a 60. Il cilindro di cartone che deve ricevere l'avvolgimento può ancora adottarsi se ben secco, ma chi desiderasse una costruzione ancor migliore può procedere come segue: il primario si avvolge su tubo di cartone sottile che si infila *dal lato filamento* della bobina secondaria. Questa si avvolge su uno scheletro isolante del tipo illustrato nella fig. 162 costituito da piccole striscie fissate a due cerchi estremi, e porta, al solito, alla 15ª spira la presa per il condensatore neutralizzante.

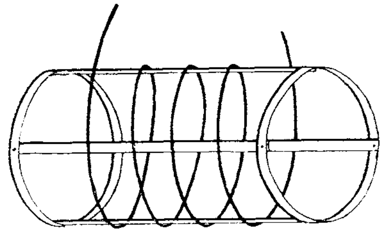


Fig. 162.

I quattro condensatori variabili necessari a sintonizzare i secondari debbono potersi comandare simultaneamente, quindi per equilibrare le eventuali differenze (nelle lampade, condensatori, induttanze, collegamenti ecc.) si inseriscono tre piccoli condensatori (vernieri) sui principali, che dovendosi regolare una volta per sempre, possono essere collocati all'interno dell'apparecchio.

Il comando simultaneo dei condensatori presenta qualche difficoltà, e senza dubbio la cosa più semplice è di montarli tutti su uno stesso asse allineandoli fra loro e quindi unendo i rispettivi alberi con piccoli giunti metallici. Poichè tutte le placche mobili fanno capo al filamento, questa unione è possibile e vantaggiosa.

Ad un estremo può sistemarsi la manovra simultanea, oppure questa può essere realizzata a mezzo di vite senza fine in un giunto qualunque permettendo così di trovare la sistemazione migliore (fig. 163).

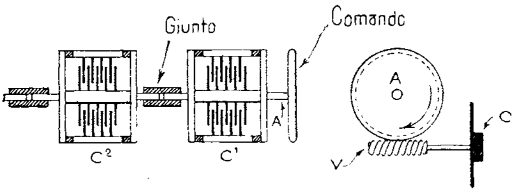


Fig. 163.

Quando non è possibile collegare i condensatori in questo modo, si può usare una lunga striscia di ebanite che porta delle laminette dentate le quali fanno ruotare i vari condensatori a mezzo di ingranaggi (fig. 164) (1).

(1) Questo sistema, usato da alcuni costruttori, non mi ha dato risultati molto soddisfacenti, specialmente pei rumori locali determinati da contatti imperfetti fra laminette ed ingranaggi. Ho trovato esperimentalmente che usando un'unica laminetta metallica in permanente contatto con le placche mobili dei condensatori (a mezzo di un conduttore flessibile) il funzionamento riesce perfetto sotto ogni rapporto.

Una volta sistemato il tutto nel miglior modo, si neutralizza l'amplificatore variando la capacità dei rispettivi condensatori. Infine si procede ad equilibrare i condensatori variabili a mezzo dei piccoli « vernieri » e l'apparecchio è pronto a funzionare con la manovra di una sola manopola [1].

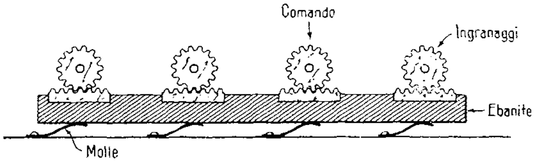


Fig. 164.

La neutralizzazione. — La messa a posto di apparati neutralizzati è la migliore e la più efficace prova delle caratteristiche qualità del sistema: di eliminare cioè gli effetti della capacità placca griglia delle lampade.

Supponiamo di dover neutralizzare un amplificatore che abbia un solo stadio prima del detector.

Avviciniamo un ondametro e variamo la capacità d'accordo, fino ad ottenere la massima intensità di ricezione. Se ora spegniamo la prima lampada, *lasciandola tuttavia al suo posto*, udiamo ancora, se pur indeboliti, i segnali dell'ondametro che raggiungono il raddrizzatore attraverso la capacità griglia placca della valvola amplificatrice.

Per essere sicuri che ciò non sia dovuto in alcun modo ad un eventuale accoppiamento fra il trasformatore *AF* e l'ondametro, è bene allontanare questo e collegarlo con un filo di 5-6 metri di lunghezza al posto dell'antenna (fig. 165).

È bene che l'emissione dell'ondametro sia musicale e potente.

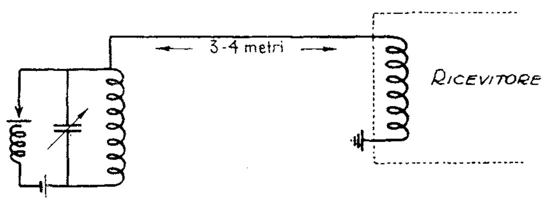


Fig. 165.

Dopo aver spenta la prima lampada, ritocchiamo l'accordo e quindi cominciamo a variare il condensatore di neutralizzazione fino a raggiungere un valore per il quale l'intensità di ricezione diviene minima o addirittura nulla.

È questo il valore esatto e sufficiente al nostro caso: nessuna cor-

[1] Tuttavia un secondo regolaggio, destinato a variare gli effetti reattivi, è molto utile, specialmente nei riguardi della chiarezza della riproduzione e allorchè è necessario spingere al massimo la sensibilità.

rente può più passare, poichè le due tensioni sfasate di 180°, sono ora equivalenti e si annullano (v. pag. 115).

Lo stadio di amplificazione è quindi neutralizzato.

Supponiamo di avere una seconda lampada amplificatrice dopo la prima. Per neutralizzarla si riaccende la prima e si ricerca ancora la massima intensità di ricezione; si spegne quindi la seconda e si varia il rispettivo condensatore fino ad ottenere la minima intensità di ricezione. A la stessa guisa si procederebbe per un terzo stadio. A questo punto l'amplificatore deve essere perfettamente regolato. Come prova si deve potere variare l'accordo entro tutta la gamma d'onda desiderata, senza provocare oscillazioni locali: se queste fossero presenti bisogna riguardare la sistemazione per scoprire eventuali effetti reattivi e ripetere la regolazione (1).

Il sistema « Reflex ». — Nella pratica può alle volte riuscire molto utile limitare il numero dei triodi, senza per altro rinunciare alla grande amplificazione di un appparecchio a molti stadi.

A questo quesito risponde egregiamente il sistema « *reflex* » detto anche più propriamente « *duplex* », per la duplice azione che in esso hanno i triodi stessi.

Questo interessante sistema non è mai da preferirsi in senso assoluto a quelli con amplificazione *BF* separata, se non in caso di necessità (stazione trasportabile, in campagna ecc.) o quando la pratica del costruttore è notevole; e ciò non per diminuirne i pregi ma come consiglio a coloro che credendo di ottenere straordinari risultati, si dedicassero alla sua realizzazione senza la necessaria esperienza.

Il sistema *duplex* usa da prima un certo numero di triodi per amplicazione *AF*, quindi un raddrizzatore a lampada o a cristallo ed in fine alcuni stadi di *BF*, che utilizzano gli stessi triodi.

Con un numero di due o tre lampade si ottengono risultati sensibilmente uguali che con quattro o cinque lampade rispettivamente, col solo difetto di una leggera complicazione del circuito.

L'idea della riflessione sugli stessi triodi e la sua realizzazione pratica si deve per la prima volta al Latour (francese); però il montaggio restò per molto tempo allo stadio esperimentale di laboratorio e soltanto poco

(1) La ricezione telefonica deve essere chiara e pura e mai accompagnata dai ben noti sibili, che sono la prova più sicura che l'amplificatore oscilla.

Analogamente non si debbono udire emissioni telegrafiche persistenti se non con l'aiuto di un oscillatore separato o sfruttando uno dei sistemi reattivi descritto.

tempo fa, per opera di molti e specialmente di Grimes (americano), fu portato ad un punto di perfezione sufficiente a farlo entrare con successo nella pratica.

Il primo ricevitore *duplex* aveva tre lampade amplificatrici *AF* seguite da un raddrizzatore a cristallo; sulle seconde due lampade veniva poi eseguita anche la amplificazione *BF*, ma era possibile sostituire facilmente al raddrizzatore a cristallo una lampada come schematicamente si vede nella fig. 166.

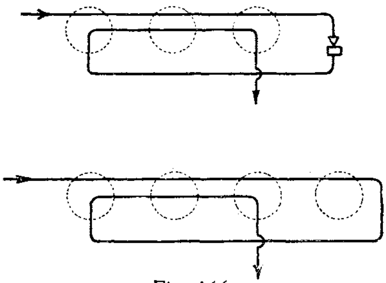


Fig. 166.

Questo circuito ha però uno svantaggio non indifferente: la terza lampada, sede di notevoli correnti ad *AF*, è di nuovo percorsa da un'intensa corrente *BF*. Ciò causa molto facilmente la saturazione della lampada stessa ed impedisce una sufficiente amplificazione, se non usandone una capace di maggiore emissione.

Inoltre il funzionamento non è stabile ed è molto comune il caso, che l'amplificatore funzioni addirittura in *BF*, amplificando cioè le minime correnti a frequenza acustica che lo possano influenzare (correnti alternate, telefoniche, telegrafiche, ecc.) poichè direttamente fra l'antenna collettrice e il telefono vi sono due o più stadi di *BF*.

Per rimediare il più possibile a questi inconvenienti si realizza lo schema della fig. 167 detto « *duplex inverso* » poichè le lampade vengono successivamente usate in ordine contrario al primitivo, così che l'audion che deve sopportare una forte corrente *AF*, ne sopporta successivamente una debole *BF*, senza raggiungere quindi la saturazione.

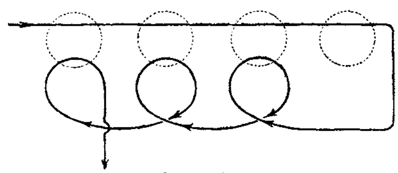


Fig. 167.

Il difetto della amplificazione di correnti *BF* è qui molto limitato e praticamente nullo essendovi soltanto uno stadio di *BF* fra l'antenna e la cuffia telefonica qualunque sia il numero delle lampade usate.

La fig. 168 mostra come sia possibile la realizzazione pratica del sistema con un amplificatore a tre lampade due delle quali funzionano in *duplex*.

Il primo condensatore fisso *C* deve lasciare passare liberamente la corrente *AF* senza abbassarne il potenziale in modo sensibile, quindi è conveniente una capacità non inferiore ai 2 mμf, mentre i successivi

condensatori sono ridotti ad 1 m μf, perchè una capacità maggiore darebbe adito al passaggio di nocive correnti *BF*.

Un' aggiunta importante, specialmente quando si ricevono stazioni locali o molto vicine, è quella di una resistenza di 3-400 Ohms nel punto *A* per regolare il funzionamento.

Infatti la corrente *AF* amplificata può essere così notevole, da saturare le lampade, tanto da rendere povera o addirittura nulla la ampli-

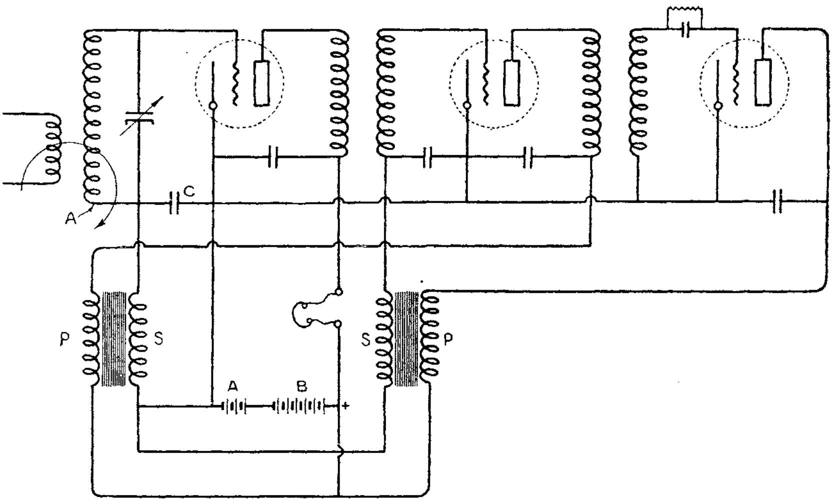


Fig. 168.

ficazione *BF*. Siccome poi di questo eccesso di potenza, soltanto una parte può essere utilizzata dal raddrizzatore, non è possibile trarne alcun vantaggio. Si verifica allora lo strano caso che diminuendo l' energia captata l' intensità di ricezione aumenta, e a ciò provvede appunto la resistenza inserita in *A*.

Esistono altre importanti qualità del sistema. Così per esempio gli angoli di fase delle correnti *BF*, possono essere stabiliti in modo da aiutare la corrente *AF* quando questa sta per diminuire e da ostacolarla quando sta per aumentare.

Questo è dovuto al fatto che piccolissimi cambiamenti del potenziale medio di griglia, possono produrre grandi modifiche nella amplificazione *AF* e in questo caso quando la corrente *AF* è massima, il potenziale che la corrente *BF* determina sulle griglie è negativo, mentre nel caso contrario è positivo o tende ad esserlo. Ne corrisponde un auto aumento della modulazione telefonica delle stazioni deboli e lontane.

Le correnti *BF* sulle griglie tendono a sopprimere ogni oscillazione locale (v. 5° cap.) quindi hanno in certo qual modo un effetto neutralizzante.

Per ottenere questi risultati è necessario che il rapporto fra resistenza ed induttanza dei trasformatori, sia scelto in modo da dare l'angolo di fase richiesto. Ciò si può ottenere per tentativi tenendo fisso l'avvolgimento secondario e variando il primario finchè si raggiunge il valore desiderato.

Costruzione di amplificatori riflessi. — Il sistema reflex può essere applicato con successo a tutti i tipi di ricevitori finora descritti.

Esso non è affatto complicato anche se non ha raggiunto ai nostri giorni una perfezione tale da rendere la sua costruzione alla portata di tutti; d'altra parte si presta invece moltissimo ad essere studiato e sfruttato da chi ha solide basi esperimentali e tecniche, poichè possiede qualità veramente preziose.

Gli esempi pratici di costruzione che seguono possono servire al lettore per famigliarizzarsi con l'insieme e le caratteristiche dei collegamenti e dargli eventualmente la possibilità di altre applicazioni.

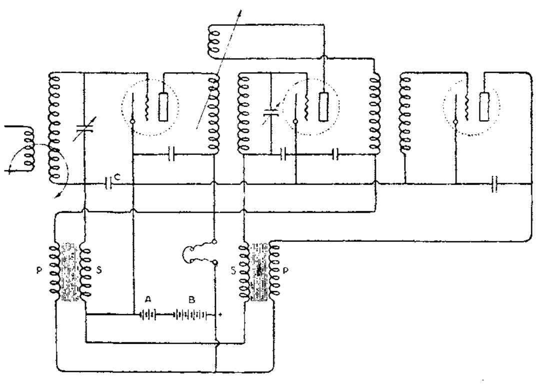


Fig. 169.

Amplificatore riflesso a tre lampade (fig. 169). È la applicazione del sistema *reflex* al ricevitore descritto a pag. 124 che si presta in modo speciale. La parte *AF* rimane invariata se si eccettua qualche lieve modifica al circuito di entrata.

Infatti per evitare amplificazione di rumori *BF* e specialmente del ronzio della corrente alternata è generalmente miglior cosa non usare antenna; quando ciò è necessario occorre mantenere un accoppiamento molto lasco fra primario e secondario, poichè non è affatto conveniente un accoppiamento serrato, diretto o capacitativo.

I condensatori fissi hanno ciascuno una capacità di 1 mμf. se si eccettua quello in parallelo sulla cuffia telefonica (2 mμf.) nel circuito placca della prima lampada.

Durante le prove iniziali si può tentare di migliorare il rendimento variando la capacità del primo condensatore fisso *C*.

Il funzionamento è regolare e stabile e l'apparecchio, una volta ben regolato, dà un rendimento simile a quello di un ricevitore a cinque valvole.

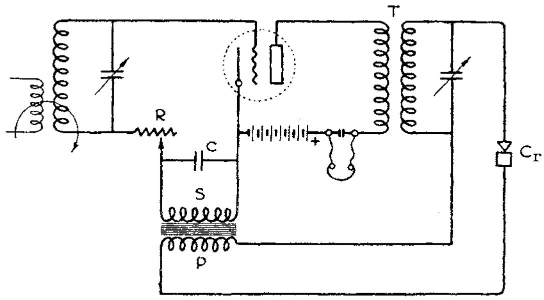


Fig. 170.

Amplificatore riflesso ad una lampada. È un ricevitore ad una valvola e cristallo equivalente, come rendimento, ad un circuito a tre valvole (fig. 170).

I valori delle varie costanti sono analoghi a quelli già ricordati.

Volendo semplificare il regolaggio si può adottare un trasformatore semi aperiodico e in ogni caso il ricevitore serve soltanto per onde smorzate o modulate. L'ufficio della resistenza *R*, di stabilizzatrice cioè del funzionamento, è già noto.

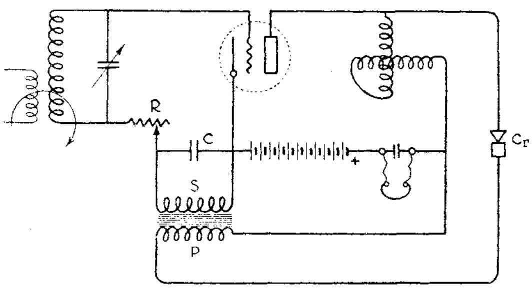


Fig. 171.

Si può semplificare la costruzione adottando il circuito della fig. 171 che dà pure un rendimento equivalente ad un circuito a tre valvole e richiede un solo condensatore, poichè il circuito placca è accordato con un variometro. Esso presenta sul precedente lo svantaggio di entrare molto facilmente in oscillazione.

CAPITOLO IV.

IL SISTEMA SUPER-ETERODINA

Generalità. — Abbiamo veduto quanti artifici si devono escogitare, quando la frequenza sorpassa un certo limite, perchè un apparecchio amplificatore *AF* dia un effettivo buon rendimento, e come ciò sia impossibile per onde inferiori ai 200 metri.

Per facilitare la cosa si è girata la situazione: si è pensato cioè di « trasformare » questa frequenza in un'altra più bassa, che possa essere a sua volta efficacemente amplificata e raddrizzata.

Questa è la principale caratteristica del sistema a super-eterodina, di fare cioè le funzioni di un « riduttore » di frequenza.



Fig. 172.

Sia *A* un circuito accordabile qualsiasi (v. fig. 172) collegato ad un'antenna.

Esso permette il passaggio in *B* di segnali *AF*; in *B* avviene la riduzione e la frequenza minore risultante viene immessa nell'amplificatore a più stadi *C* sintonizzato su questa.

All'uscita di *C* abbiamo quindi un'intensa oscillazione *AF* che possiamo facilmente raddrizzare in *D*, con un secondo detector che ci dà, aumentati di intensità, gli stessi segnali.

Come si vede, la cosa è semplice ed elementare; ma tuttavia nella sua realizzazione pratica occorre tenere presenti molte particolarità e peculiari comportamenti delle varie parti che compongono l'insieme per evitare insuccessi o mediocri risultati.

Uno dei primi sistemi di super-eterodina è rappresentato dal circuito della fig. 173.

Si fa in modo che la lampada *D'* produca oscillazioni differenti da quelle in arrivo di un costante e determinato valore.

Si hanno quindi, nel circuito di entrata, due frequenze, che danno luogo ad una frequenza risultante (battimenti) che *viene alfine raddrizzata dalla lampada stessa.*

Ciò è identico al comportamento del comune circuito autodino (¹), e soltanto la frequenza dei battimenti invece di essere udibile (per esempio 1000 periodi) è molto più alta (²).

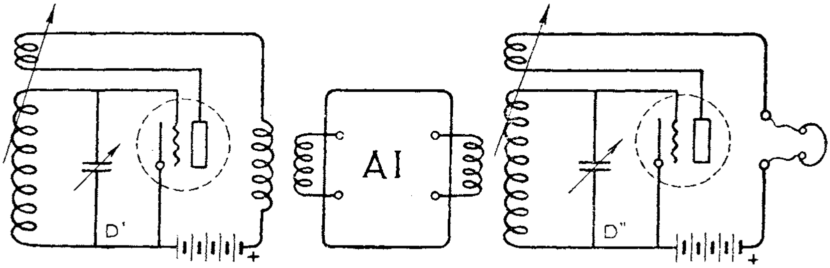


Fig. 173.

Il concetto è meglio illustrato con un esempio numerico: sia la frequenza in arrivo di 1 milione di periodi e si disponga di un amplificatore intermedio (*AI*) per 10 mila periodi ($\lambda = 30$ mila metri).

Producendo un'oscillazione di 990 mila periodi si hanno 10 mila battimenti.

Il detector, a questo punto, raddrizza i battimenti e ci fornisce una *corrente pulsante* analoga a quella che ci fornirebbe un complesso rivelatore accordato su un'emissione di 30 mila metri.

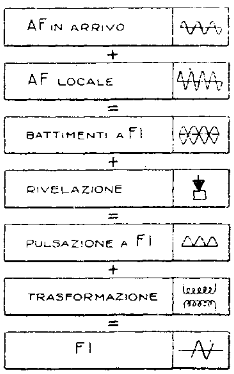


Fig. 174.

Questa corrente pulsante immessa nel primario di un trasformatore, induce nel secondario di questo una corrente alternata sinusoidale, la frequenza della quale viene detta *intermedia.*

Soltanto a questo punto possiamo dire che il cambio di frequenza ha avuto luogo.

La fig. 174 riepiloga schematicamente quanto si è detto.

Nel caso della ricezione di onde persistenti *pure*, la frequenza intermedia, amplificata e rettificata, per essere resa udibile, ha bisogno di una oscillazione locale, per produrre come al solito dei battimenti a frequenza sonora (v. pag. 95).

Questo si realizzava rendendo oscillante l'ultimo detector, come ci

(¹) Il circuito a reazione (v. pag. 95) viene spesso chiamato « *autodino* », per le sue caratteristiche di oscillatore e di raddrizzatore. « *Eterodina* » dicesi infatti un complesso oscillatore qualunque.

(²) Il circuito della fig. 153 è, come si disse, uno dei primi ed ha il grave difetto che per ottenere i battimenti desiderati occorre fortemente disaccordare il sintonizzatore a scapito dell'energia da captare.

mostra il primitivo schema. Ora però si preferisce l'uso di un oscillatore separato.

Quando si ricevono invece onde modulate o telefonia, il secondo oscillatore è evidentemente inutile (v. pag. 68).

Il circuito d' entrata. — Il circuito di sintonia va da prima considerato. Esso deve essere come nel caso di qualsiasi altro ricevitore, curato e perfetto. Infatti da esso dipende il funzionamento di tutto l' insieme, poichè segnali tanto deboli da non produrre battimenti sufficientemente ampi, per far funzionare il primo detector, non sono uditi nemmeno dopo tutte le amplificazioni successive. È questo infatti il principale difetto della super-eterodina (s. e.), che cioè, avendosi necessariamente nel cambio di frequenza una diminuzione del segnale, quando questo è debolissimo, può addirittura scomparire del tutto.

E in questo caso sarebbe molto più conveniente ricevere con un unico raddrizzatore, piuttosto che con il più completo ed efficiente sistema di s. e. Quindi quanto maggiore è il rendimento del sintonizzatore tante più probabilità si hanno di ricevere deboli segnali.

Un' altra caratteristica cui deve rispondere il sintonizzatore è di irradiare il meno possibile. Generalmente una s. e. comune, collegata strettamente ad un aereo può *disturbare* nel raggio di 20 chilometri altri apparati riceventi: ora, sebbene si siano escogitati sistemi più o meno efficienti per diminuire questo diffetto, tuttavia è sempre preferibile usare un collettore a quadro o una corta antenna, accoppiata molto lascamente al ricevitore. In questi casi l' irradiazione, sebbene sempre presente, è molto limitata. Un accoppiamento del genere, ha anche il pregio di un' ottima selettività utile specialmente quando si hanno stazioni disturbatrici vicine.

Il primo detector. — Quando le emissioni da ricevere sono prossime, una volta realizzata una buona sistemazione, non occorre pensare a null' altro nei riguardi del primo detector. Invece nel caso di emissioni deboli, per ottenere il miglior rendimento si debbono prendere alcune precauzioni, quali ad esempio un accoppiamento più lasco coll' oscillatore e specialmente l' abbassamento della tensione di placca ad un valore molto piccolo.

In questo modo, sebbene segnali potenti risultino indeboliti, si ricevono anche lontane emissioni da prima non rivelate.

Un altro artificio per rendere il primo detector più sensibile, consiste nell' utilizzare l' effetto reazione, montandolo cioè in autodina, e stabi-

lendo le cose in modo da portarsi in prossimità, ma non entrare, nella zona di oscillazione.

Passaggio all'amplificatore intermedio. — Abbiamo veduto come la corrente che esce dal detector è pulsante ed ha bisogno di divenire alternata per essere amplificata. Usando un amplificatore intermedio (*AI*) a resistenze, occorreva quindi prima di questo, un vero e proprio trasformatore.

Usando invece amplificazione a trasformatori basta naturalmente mandare la corrente pulsante nel primo di essi; è questa particolarità appunto, che fa spesso fraintendere il meccanismo del sistema.

Tuttavia si è notato come fosse in certo qual modo necessario limitare la gamma di frequenze che poteva giungere all'amplificatore intermedio. Da prima si adottò il circuito della fig. 175, che si dimostrò complicato ed addirittura troppo selettivo. Modernamente per aumentare la selettività si usa sintonizzare con un condensatore variabile il primario del primo trasformatore intermedio (*TI*). Però quando non esistono stazioni trasmettitrici nelle immediate vicinanze, il circuito, denominato impropriamente *filtro*, può omettersi senza nessun apprezzabile svantaggio.

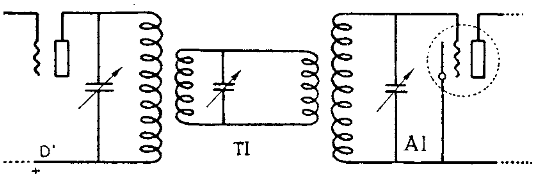


Fig. 175.

L'amplificatore intermedio. — Siamo alfine giunti alla parte più importante della s. e.

L'amplificatore intermedio, se imperfetto, rende difficile ed instabile anche la più facile ricezione.

Scartando fin d'ora l'amplificatore a resistenze, consideriamo le altre varietà che possono rispondere allo scopo.

Prima di tutto nei riguardi della lunghezza d'onda da scegliere sembrerebbe utile l'utilizzazione di un'onda molto lunga per rendere trascurabili i nocivi effetti di capacità, reazioni ecc. già considerati. Ora, un amplificatore con trasformatori sintonizzati oltre i 10 mila metri può difficilmente adottarsi quando si debba ricevere della telefonia, poichè le frequenze più alte e più basse nella gamma dei suoni, vengono molto meno amplificate delle altre, determinando forti distorsioni.

Infatti supponiamo che una emissione *AF* venga modulata con una

nota di 2000 periodi. Abbiamo allora che qualunque sia la frequenza dell' oscillatore, ai lati di questa, si aggiunge e si sottrae, la frequenza della modulazione.

Più semplicemente, una emissione persistente perfetta, può rappresentarsi con un punto solo (A) nella gamma delle frequenze supposta una retta (fig. 176).

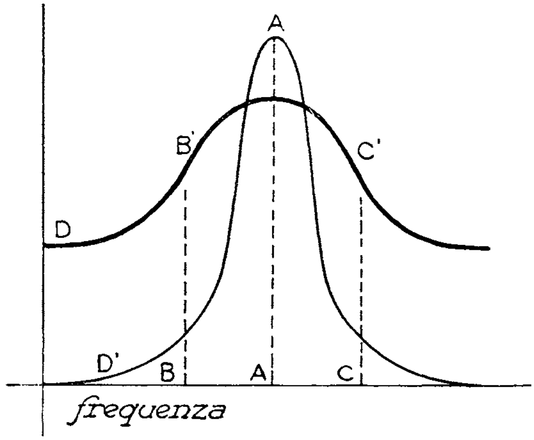


Fig. 176.

Se questa emissione viene modulata a 2000 periodi, essa non occuperà più un punto solo, ma si estenderà a destra e a sinistra di A, precisamente di 2000 periodi, cioè occuperà una zona di 4000 periodi. Se la modulazione fosse eseguita da suoni ecc. (radiotelefonia) si avrebbe l' occupazione di due zone di 10 mila periodi all' intorno di A, poichè appunto fra i suoni più bassi e le armoniche più alte intercede una differenza di questo ordine (punti B e C). Rappresentiamo ora perpendicolarmente alla retta r a partire dai punti B, A e C dei segmenti indicanti l' ampiezza dell' emissione.

La curva caratteristica del trasformatore AF dovrà passare prossima alle estremità di questi, per fare sì che l' amplificazione sia pressochè costante in tutta la gamma; sarà quindi simile alla curva D, poichè se fosse acuta e ripida come la D', una gran parte di frequenze verrebbe malamente amplificata.

Quindi, per non determinare alcuna distorsione, un trasformatore adatto deve comprendere nella sua curva caratteristica almeno 20 mila periodi, con rendimento minimo non inferiore al 50-60 per cento del massimo; ma 20 mila periodi se l' onda di supporto è lunga (per esempio 10 mila metri) corrispondono ad una grande variazione (da 7500 a 15000 metri), mentre se l' onda è più corta (per esempio 2000 metri) la variazione è molto minore (da 1800 a 2200 metri).

Questo naturalmente per una riproduzione fedelissima dei timbri e delle intonazioni sonore, poichè accontentandosi di una riproduzione soltanto chiara ed intelligibile basta una gamma di 3-4 mila periodi da una parte e dall' altra di A.

Un trasformatore ad onde lunghe che abbia una curva caratteristica tanto appiattita da comprendere una così vasta gamma di frequenze, presenta un secondo difetto, non meno importante del primo; che cioè facilmente, un'estremità della curva stessa entra nella gamma delle frequenze udibili e quindi si verifica un'amplificazione notevole delle correnti *BF* che *rende molto rumoroso il ricevitore.* Questo grave difetto è difficile ad eliminare, quando l'onda di lavoro è dell'ordine dei 10 mila metri.

Sono queste le principali ragioni che sconsigliano l'uso di onde molto lunghe quando si debba ricevere una emissione modulata da suoni, mentre ciò resta sempre la migliore soluzione per ricezione telegrafica, poichè è possibile con trasformatori a risonanza acuta, eliminare in gran parte interferenze e rumori estranei.

Presentemente si è preferito rivolgere le ricerche alla realizzazione di amplificatori a circuiti traslatori non accordati. Resta ancora da scegliere fra quelli senza nucleo e quelli con nucleo di ferro. I trasformatori fissi a nucleo aria, presentano anche loro una pronunciata risonanza, e per questo è bene farne uso quando l'onda non oltrepassi i 3000-3500 metri. Non potendo questi essere regolati, occorre siano tutti identici: si sono studiati per eliminare questa difficoltà costruttiva vari sistemi, tendenti con una leggera variazione a portare l'apparecchio ultimato nelle migliori condizioni, come avremo occasione di notare.

Infine i trasformatori a nucleo ferro funzionano tanto più egregiamente quanto più l'onda da amplificare è lunga, e in questo caso permettono generalmente una amplificazione migliore di quella degli altri tipi, sebbene molto spesso presentino il diffetto di amplificare in *BF* come già prima ho accennato.

Riepilogando si può affermare che:

Per ricezione telegrafica, qualunque tipo di trasformatore può essere usato, preferibilmente ad onde molto lunghe e con tanto migliore vantaggio, quanto più ripida sia la sua curva di risonanza.

Per ricezione telefonica occorre accontentarsi di un minore rendimento usando:

Trasformatori sintonizzati	con onde $<$ di 2000 metri.
Trasformatori a nucleo aria	con onde $<$ di 3500 metri.
Trasformatori a nucleo ferro	con onde $<$ di 8000 metri.

Fra tutti questi tipi però, la moderna tecnica si è generalmente rivolta al trasformatore a nucleo aria, non sintonizzato, cercando con adatti artifici, di renderlo il più possibile adatto allo scopo.

Un'altra cosa che va molto considerata (ma che generalmente richiama la minor attenzione), è la possibilità che l'amplificatore intermedio oscilli spontaneamente. Infatti è opinione quasi generale, che avendo di tanto ridotta la frequenza, non convenga più osservare le solite precauzioni, ma bensì, comunque si monti l'apparecchio, esso debba egregiamente funzionare. Invece, se è vero che l'effetto della capacità delle lampade ecc. è molto meno nocivo, è altrettanto vero che esso *è ancora sufficiente a determinare intensi effetti reattivi.*

Oltre a ciò, abbiamo in uno spazio generalmente ridotto, un grande numero di induttanze, trasformatori, condensatori ecc. che inevitabilmente si influenzano fra loro. È possibile ridurre questi diffetti, curando scrupolosamente il montaggio generale, abbondando nelle dimensioni ed infine proteggendo con schermi metallici i vari circuiti dalle reciproche influenze.

Un *vero* amplificatore intermedio, deve avere i suoi trasformatori racchiusi in custodie metalliche, e un altro miglioramento consiste nel proteggere pure in questa guisa l'oscillatore ausiliario e portarlo ad influenzare il circuito del primo detector a mezzo di adatta bobina. Questo sistema permette, ben dimensionando la bobina stessa, di ridurre al minimo la irradiazione e di migliorare la ricezione dei segnali deboli.

Il secondo detector. — Il secondo detector al contrario del primo è in condizioni generalmente ottime di funzionamento, per la cospicua intensità dei segnali che gli pervengono. La sua tensione placca può essere quindi maggiore di quella del primo, con vantaggio anzichè con danno. Per la ricezione di onde persistenti si è spesso ricorso alla auto-oscillazione del secondo detector, ma ciò è raramente consigliabile.

Invece può essere utile (ricezione telefonica), utilizzare un debole effetto reattivo (sempre però incapace di provocare oscillazioni) per aumentare la sensibilità del detector stesso. Nel primo caso si dovrà utilizzare un' eterodina separata, con tanta maggiore utilità, quanto più lunga sia l'onda di lavoro dell'amplificatore intermedio.

Aumento di sensibilità della s. e. — Assieme a grandi pregi la s. e. ha anche molti diffetti.

Prescindendo da quelli di ordine economico e costruttivo, il diffetto principale di questo ricevitore è la sua poca sensibilità a segnali *molto* deboli. Per rimediare a questo non vi sono che due sistemi: o aumentare la sensibilità del primo detector o applicare ad esso segnali *AF* relativamente ampi (cioè previamente amplificati).

Dal primo dei due risulta palese quanto necessario ed utile sia ridurre

le perdite nel circuito d' entrata, alle più piccole possibili. Quindi, induttanze, condensatori, collegamenti e specialmente sistemazione rispetto alle altre parti e alle pareti del ricevitore, acquistano grande importanza; senza contare infine la lampada raddrizzatrice stessa, che dovrebbe essere giudiziosamente scelta e sistemata. Per aumentare ancora la sensibilità non resta che una via che complica leggermente il regolaggio. Utilizzare anche qui l'effetto reazione. La sensibilità del raddrizzatore è in questo modo oltremodo aumentata ma occorre tenersi sempre sufficientemente distanti dal punto di innesco delle oscillazioni. Praticamente si avvicinano alla

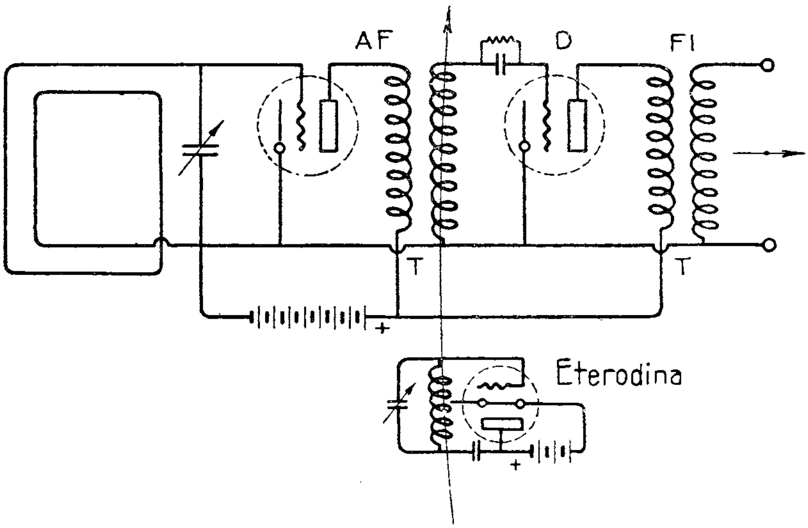


Fig. 177.

bobina di griglia alcune spire in serie col circuito placca, scelte e disposte in modo, da mantenere la costante e determinata « reazione » in tutta la gamma da esplorare. Questo artificio è molto utile, ma porta con sè nuovi diffetti e specialmente l'aumento dei disturbi estranei come è ben facile ad immaginare. Quindi nel caso di un posto molto disturbato sia da veri e propri atmosferici sia da interferenze *BF* (come generalmente accade nel centro delle grandi città) il sistema non è per nulla da preferire. Però essendo la sua realizzazione tanto semplice io penso che senza una grande difficoltà si possa applicarlo in qualunque s. e. utilizzandolo poi quando le condizioni lo permettessero.

I metodi esposti non costituiscono però un radicale rimedio. Questo si ottiene invece quando si risponde al secondo dei quesiti sopra enunciati: cioè quando si fanno pervenire al 1° detector segnali *AF* di suffi-

ciente intensità, e quindi previamente amplificati (fig. 177). In questo modo però, si viene di nuovo a limitare la gamma d'azione della supereterodina e a prescriverle la zona al di sotto dei 200 metri. Ciò può essere un grave diffetto quindi la necessità di escludere a volontà questa preliminare amplificazione. D'altra parte però per la gamma superiore, l'utilità dell'artificio è tale, da giustificare pienamente la relativa difficoltà di sistemazione. È evidente poi come per non aumentare di molto questa e per non rendere il funzionamento e la manovra del ricevitore difficile e laboriosa, occorra limitarsi a pochi stadi di amplificazione *AF*. Il costruttore di una s. e. che funzioni egregiamente potrà al massimo montare *una sola* amplificatrice prima del detector possibilmente neutralizzando il circuito stesso, lasciando ai laboratori la realizzazione di una maggiore amplificazione che per quanto perfetta, renderebbe l'istrumento troppo delicato per essere usato comunemente e da chiunque.

Da quanto precede, spero che il lettore si sarà fatto un esatto concetto del funzionamento e delle particolari qualità di questo sistema di ricezione e potrà quindi utilizzare con maggiore cognizione i pochi dati costruttivi che seguono.

Costruzione di ricevitori s. e. — *Ricevitore s. e. universale.* Questo istrumento è adatto a ricevere qualsiasi lunghezza d'onda fra 10 e 2000-3000 metri a mezzo di bobine intercambiabili.

Tutte le parti componenti vengono preferibilmente montate, in un primo tempo, nel miglior modo su una tavola esperimentale di legno come alla fig. 178. Le dimensioni segnate possono, volendo, essere aumentate ma non ridotte.

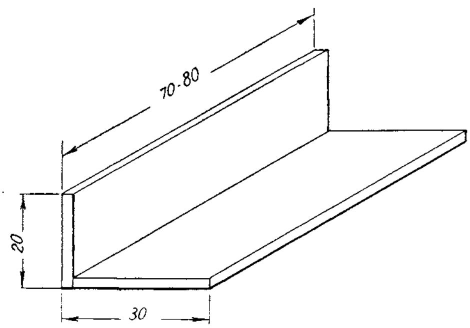


Fig. 178.

La sistemazione non richiede un sostegno di ottimo isolante, anzi come vedremo sarebbe preferibile che questo fosse addirittura metallico. All'uopo tanto i condensatori che i reostati debbono avere una parte in contatto con esso, in comunicazione coi filamenti delle lampade, e più precisamente i condensatori la parte mobile in comunicazione con le testate (metalliche) e i reostati un capo qualunque preferibilmente in contatto con l'albero di manovra.

Il sintonizzatore potrebbe essere un semplice quadro shuntato da un condensatore, ma ciò non è consigliabile data la gamma d'onda relativamente estesa dell'apparecchio stesso.

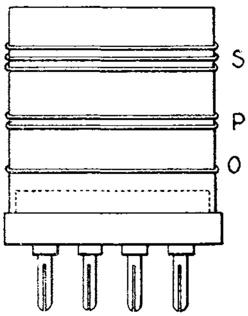


Fig. 179.

Esso è meglio costituito da un circuito primario aperiodico accoppiato più o meno al secondario a seconda della lunghezza dell'aereo usato. Usando un'antenna di 20 metri al massimo l'accoppiamento può essere abbastanza stretto e, riducendo convenientemente le spire, il primario può addirittura avvolgersi sul secondario.

Le bobine intercambiabili debbono avere quattro spine di contatto che si dispongono su un listello di ebanite. Esse sono avvolte su un tubo sottile di cartone (fig. 179), finchè la λ non è inferiore a 80 metri, e in questo caso il filo è avvolto senza supporto o su un leggero scheletro isolante. La bobina del diametro di 8-10 cm. porta sempre tre circuiti: il primario, il secondario e un terzo avvolgimento (fig. 180) percorso dalla corrente *AF* dell'oscillatore che si preferisce collocare distante da questa, realizzando il circuito della fig. 181.

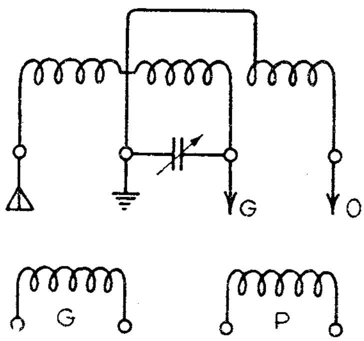


Fig. 180.

Una bobina analoga serve per l'oscillatore, ma essa porta invece due soli avvolgimenti, che fanno capo a tutte le quattro spire (*G* e *P* della figura 180).

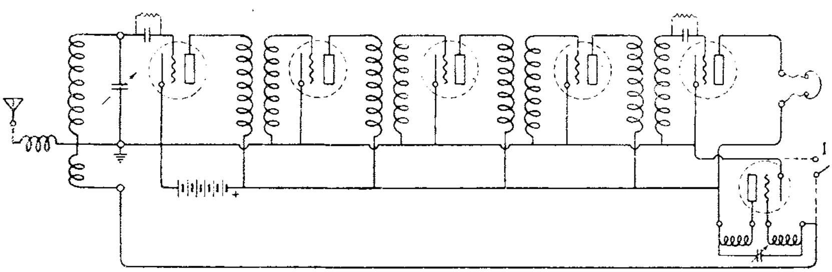


Fig. 181.

I valori delle varie induttanze sono dati con buona approssimazione dalla tabella.

	SINTONIA			ONDA metri	OSCILLATORE	
	Primario	Secondario	Oscillatore		Griglia	Placca
in aria	1 — 2	5	1 — 2	15 — 40	4	4
	1 — 2	10	1	30 — 70	8	8
su cartone	2 — 3	20	1	60 — 160	20	20
	10	60	2	160 — 500	60	60
	15	80	2	400 — 1000	90	90

Per onde più lunghe il primario aperiodico non è conveniente, ma è migliore un accoppiamento coll' aereo a mezzo di piccola capacità, eliminando addirittura il primario.

Per segnali molto deboli il terzo circuito deve essere eliminato, poichè è sufficiente la vicinanza dell'oscillatore per il cambio di frequenza (interuttore *I*).

I trasformatori intermedi debbono essere in custodia metallica in contatto coi filamenti. Se non si desiderano acquistare già fatti, si possono costruire utilizzando eventualmente vecchie scatole di nastri per macchina da scrivere, come protezione.

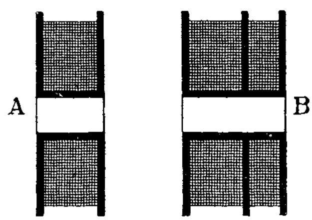


Fig. 182.

All' uopo si costruisce una forma circolare in legno di diametro inferiore alla scatola stessa. Questa forma potrà essere quella della fig. 182 (*A* e *B*). La prima, che permette la costruzione di trasformatori a rapporto 1 : 1 e quindi con minore amplificazione è specialmente addatta per ricezione telefonica e per essere facilmente realizzata con pochi mezzi e senza alcuna misura.

La seconda invece portante due avvolgimenti distinti permette una maggiore amplificazione, ma richiede più cura nella sistemazione e messa a punto di tutti i trasformatori.

Nel primo caso si avvolgono 1500 spire di filo di rame di un decimo mm. partendo con due fili, in modo che primario e secondario vengano avvolti accoppiati.

Nel secondo caso invece si avvolgono 800 spire al primario e 1800 al secondario, togliendo poi tante spire a quest' ultimo, finchè tutti i trasformatori risultino uguali.

La misurazione si esegue con lo stesso metodo esposto a pag. 121 nella costruzione di amplificatori *AF*.

Ambedue i tipi vengono racchiusi nelle scatole metalliche preparate come alla figura 183 (che si possono infine riempire di paraffina), e gli estremi degli avvolgimenti si saldano ai serrafili disposti ai quattro angoli.

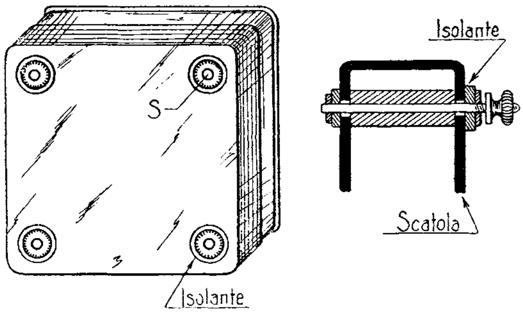


Fig. 183.

Il trasformatore costruito in questo modo, non avrà nulla da invidiare a quelli del commercio, ma anzi ne sarà difficilmente superato.

I trasformatori possono essere montati anche molto vicini, perchè sono protetti da eventuali reazioni reciproche, quindi lo spazio richiesto da tutto l' insieme è relativamente limitato.

Le lampade si mantengono fra i trasformatori stessi su apposite basette o portalampada munite eventualmente di serrafili, in modo che i collegamenti possono farsi dopo il fissaggio delle varie parti.

Una certa regolarità nei collegamenti è preferibile, perchè facilita l' ispezione e la localizzazione di eventuali errori e perchè materializzando il circuito, permette di comprenderne in miglior modo il comportamento e le caratteristiche.

La fig. 184 mostra come sia possibile nel minimo spazio e con le minime connessioni, collegare l' insieme dei trasformatori.

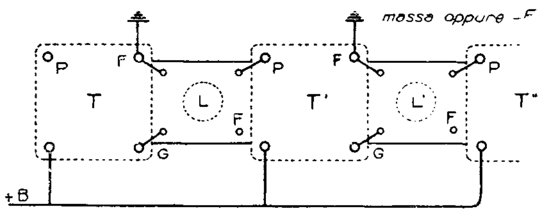


Fig. 184.

Una volta che il funzionamento su pannello di legno sia il migliore possibile, chi desidera portare al massimo la praticità di questo ricevitore, può montarlo su pannello metallico.

Ciò, oltre ai grandi vantaggi elettrici che apporta, riesce anche esteticamente gradevole. All' uopo si usa una lastra di ottone o di alluminio che si piega come alla fig. 185, dandole le dimensioni più convenienti. Quelle della fig. 185, furono adottate dallo scrivente per un apparecchio identico a quello descritto, con buoni risultati.

Sul davanti vanno i condensatori e i due reostati (eterodina e lam-

pade), un elettrodo dei quali forma parte integrale con la massa metallica.

Sulla base sono avvitati i portalampada e i trasformatori, nonchè le basette delle due induttanze.

A funzionamento perfetto il tutto può essere racchiuso in una delle solite custodie di legno.

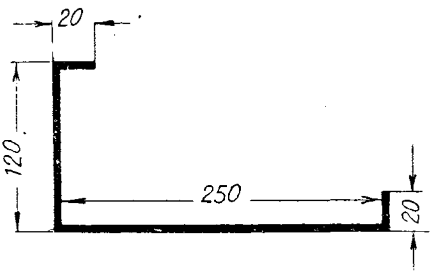


Fig. 185.

Questa s. e. ha dato dei buoni risultati, permettendo l'ascolto in forte altisonante senza uso di amplificazione *BF*, che tuttavia può vantaggiosamente aggiungersi o nello stesso apparecchio o separatamente.

Manovra della s. e. — Questa richiede due regolaggi: quello del condensatore di sintonia e quello del condensatore dell'etorodina locale. Nessuna difficoltà si presenta in questa operazione dopo un breve periodo di esperienza.

Quando l'apparecchio è pronto a funzionare, si comincia a variare lentamente il condensatore di sintonia muovendo contemporaneamente quello dell'oscillatore avanti e indietro.

Per ogni posizione del primo, si trovano delle posizioni del secondo, alle quali si nota un forte aumento dei piccoli rumori parassiti, similmente a quando un ricevitore a reazione è portato ad innescarsi.

Questi aumenti di sensibilità si notano tutte le volte che la differenza fra la frequenza in arrivo e quella locale è uguale a quella di lavoro dell'amplificatore intermedio.

Poichè la lampada oscillatrice emette assieme alla fondamentale numerose armoniche, si trovano varie posizioni del rispettivo condensatore, per le quali è possibile la ricezione.

Ciò è nocivo alla purezza di ricezione e alla sintonia (è per questo che occorre allontanare e disaccoppiare l'oscillatore, diminuire la sua tensione placca, adoperare batterie separate ecc.).

Il miglior rendimento si deve trovare soltanto in due posizioni molto vicine del condensatore stesso che corrispondano alla frequenza (fondamentale) che ha, rispetto a quella delle oscillazioni da rivelare, *in più* o *in meno* la frequenza dei battimenti. *Spesso, se usando una di queste posizioni, si notano delle interferenze nocive, è possibile eliminarle usando la seconda.*

Dopo un poco di esercizio e specialmente se si adopera l'istrumento

per ricevere una vera e propria emissione (preferibilmente locale: generata cioè da un ondametro a vibratore che si allontana gradualmente; vedi pag. 118) si troveranno le posizioni rispettive dei due condensatori per le varie lunghezze d'onda.

S. e. con amplificazione ad AF. — Per facilitare il lettore che per particolari condizioni, non desiderasse adottare un tipo unico di apparecchio, ne descrivo alcuni altri il funzionamento dei quali è altrettanto buono.

Esaminando per ora l'eventualità della amplificazione *AF* prima del raddrizzatore, ecco alcuni dati al riguardo:

Se il trasformatore *AF* è aperiodico nessuna modifica interviene, se non che l'accoppiamento con l'oscillatore non può più effettuarsi sulla bobina d'accordo, ma bensì sul trasformatore stesso. Questo accoppiamento potrà generalmente tenersi fisso, come alla fig. 186, così che il trasformatore *AF* può cambiarsi facilmente senza nessun svantaggio.

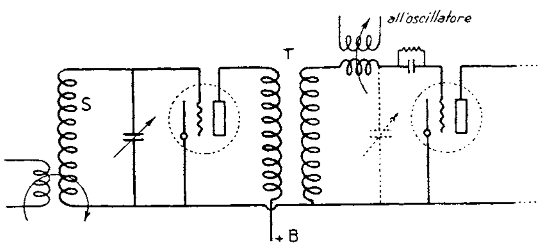


Fig. 186.

Nel caso invece si desideri un trasformatore *AF* sintonizzato, la s. e. avrà un regolaggio in più ma in compenso la sua selettività risulterà molto aumentata. Questo sistema da adottarsi quando si è disturbati da stazioni molto vicine, si realizza costruendo il secondario del trasformatore identico a quello di sintonia ed usando due condensatori pure identici. Con piccole capacità compensatrici è possibile montare i due condensatori su uno stesso asse e ritornare quindi ai due regolaggi primitivi (v. pag. 143).

In questo caso è spesso utile e vantaggioso adottare uno dei sistemi stabilizzatori esaminati nel cap. 3°.

Nel caso di segnali molto deboli è preferibile usare per l'oscillatore batterie separate di placca e di accensione per ridurre al minimo l'accoppiamento attraverso i collegamenti interni.

S. e. con reazione al 1° det. — La via più semplice, anche per permettere il cambio delle induttanze, è di inserire sul secondario un vero e proprio « accoppiatore » un'induttanza del quale sia la bobina

di placca del detector. In questo caso la bobina d' accoppiamento coll' oscillatore, può essere portata ad agire su questa stessa induttanza magari con accoppiamento variabile, realizzando così l' accoppiatore della fig. 187, dove *R* è la bobina di placca, e *O* quella dello oscillatore.

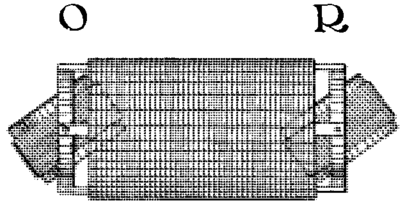


Fig. 187.

Esse vengono, a ricevitore ultimato, fissate nella posizione più conveniente e *non più toccate*. Il circuito è evidentemente quello della fig. 188. *R* deve essere inclinato in modo da non permettere *mai* l' innesco di oscillazioni locali in tutta la gamma d' onda desiderata.

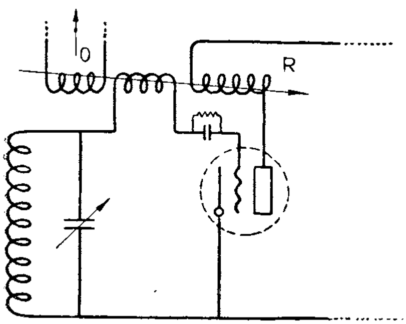


Fig. 188.

Quando le interferenze e i disturbi non siano molto forti questo artificio può *raddoppiare* la sensibilità di una s. e. Tanto più stretto l' accoppiamento del primario al secondario tanto più stretto può essere quello della reazione senza per altro fare oscillare la lampada.

S. e. neutralizzata. — Alle volte riesce difficile anche usando frequenze relativamente basse, stabilizzare completamente l' amplificatore a *FI*, e in questo caso può riescire utile, una vera e propria neutralizzazione (vedi cap. 3°). Però è generalmente preferibile non ricorrere a ciò, poichè cercando di stabilizzare l' amplificatore in altro modo (schermi metallici, connessioni protette ecc.) noi aumenteremo sempre più il rendimento, mentre neutralizzando all' inizio maschereremo in certo qual modo gli eventuali difetti.

La fig. 189 mostra lo schema più semplice. I trasformatori, tutti identici, si formano avvolgendo su un tubo di cartone dei secondari di 250 spire (con filo di 6 decimi) disposte nella maniera degli avvolgimenti a più strati (fig. 190). I primari si avvolgono direttamente su questi con 50 spire dello stesso filo. L' accoppiamento dell' oscillatore è analogo a quelli già descritti, e così pure il sintonizzatore costituito da un primario fisso di 20 spire e da un secondario di 70. Tutti i condensatori variabili dei trasformatori sono uguali (250 unf.) e così

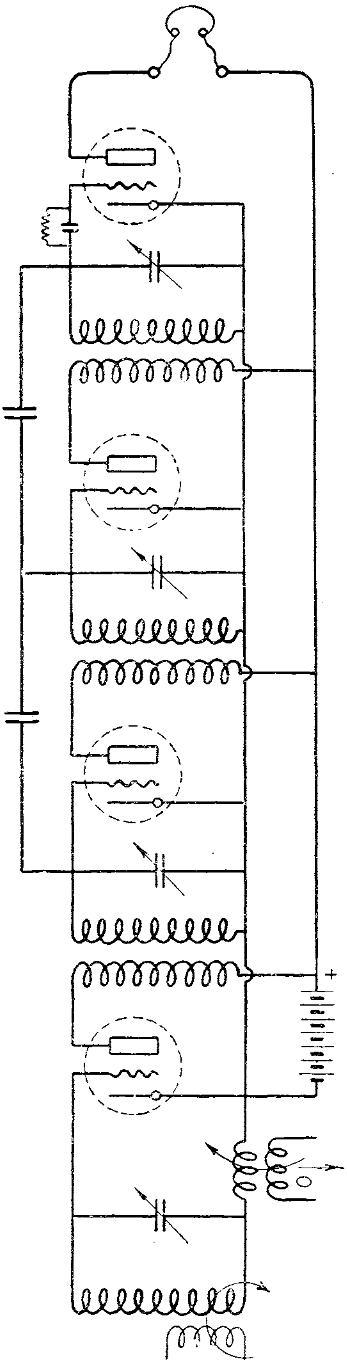


Fig. 189.

quelli dell' eterodina e del secondario (500 unf.). L' apparecchio deve essere da prima *neutralizzato* sfruttando uno dei soliti sistemi (v. cap. 3°); i condensatori variabili dei trasformatori regolati una volta per sempre, ed infine il ricevitore è pronto a funzionare alla stessa guisa di quelli già esaminati.

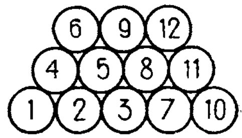


Fig. 190.

S. e. a un solo regolaggio. — Si è riusciti recentemente a costruire un apparecchio s. e. che richiede la manovra di un solo regolatore per la ricerca delle varie lunghezze d' onda.

La cosa si presentava piuttosto difficile, poichè i due condensatori di sintonia e dell' oscillatore, non determinano col loro movimento un' uguale variazione di frequenza. Infatti supponendo l' *AI* in risonanza su 3000 m., la differenza di frequenza fra l' oscillatore e la sintonia dovrebbe essere costantemente di 100 mila periodi.

Ora con λ di 200 metri, questa determina una differenza di lunghezza d' onda di soli 5 metri, mentre a 600 metri la differenza è 10 volte maggiore. È noto inoltre che le comuni forme di condensatori permettono, o una variazione di capacità, o una variazione di lunghezza d'onda proporzionali allo spostamento. Quindi essi non possono usarsi se non con speciali artifici. La cosa più semplice sarebbe quella di avere due condensatori, nei quali lo spostamento fosse proporzionale alla *variazione di frequenza*, e allora una volta fissata una determinata differenza fra

essi, questa rimarrebbe costante. Ma in commercio è alquanto difficile trovare simili condensatori. Allora si è pensato di usare due condensatori comuni e di dimensionare le induttanze in modo, che la variazione rimanesse costante. Qui sta il segreto della s. e. a un solo regolaggio. I due condensatori di 0,5 millimicrofarad ciascuno vengono montati sullo stesso asse o collegati con pignoni adatti.

Per amplificatore intermedio qualunque tipo è adatto, purchè sia assolutamente stabile e non richieda alcuna cura. Per l'oscillatore e la sintonia occorre invece costruire speciali induttanze e dimensionarle in modo tale, da rendere perfetto e sincrono il funzionamento. La bobina di sintonia (per la gamma da 200 a 600 metri) è costituita da un primario L di 8 spire (fig. 191) e da un secondario L_1 di 60 spire tutto bobinato su tubo sottile di cartone di 10 cm.

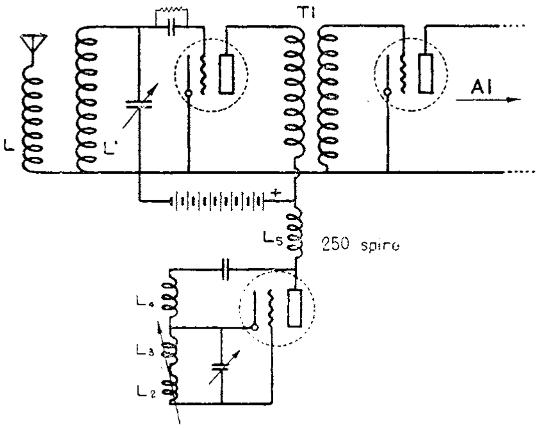


Fig. 191.

La bobina dell'oscillatore ha due sezioni distanti 1 cm. circa; quella di griglia L_3 (60 spire) e quella di placca L_4 (30 spire); in serie con la bobina di griglia vi è un'induttanza L_2 (5-6 spire) che è ruotabile nell'interno di questa e che fa le funzioni di variometro per equilibrare le piccole differenze durante la messa a punto dell'insieme.

Nessun accoppiamento speciale è provveduto fra oscillatore e detector se non quello determinato da induzioni reciproche o attraverso i collegamenti comuni.

È conveniente lasciare il potenziale di placca del primo detector di poco superiore o addirittura uguale a quello del filamento. Quindi la prima placca avrà una presa intermedia nella batteria principale.

Per regolare l'apparecchio ci si porta a funzionare al principio della scala dei condensatori, che una volta messi a punto si calettano assieme. Ci si porta poi all'altro estremo e si regola la induttanza variabile dell'oscillatore fino ad ottenere il migliore rendimento.

Allora si ritorna al principio, ritoccando eventualmente il regolaggio, finchè per tutta la scala la variazione rimane pressochè costante. A questo punto l'intera manovra deve potersi eseguire con un solo comando se

si eccettua l'accensione che del resto è possibile rendere automatica a mezzo dalla « spina » che porta la cuffia o l'altisonante.

S. e. perfezionata (¹). — È un miglioramento sul primo tipo descritto che mi ha dato buoni risultati. L'oscillatore va racchiuso completamente in custodia metallica, e viene accoppiato induttivamente e in modo variabile al raddrizzatore. Con un aereo a quadro, è

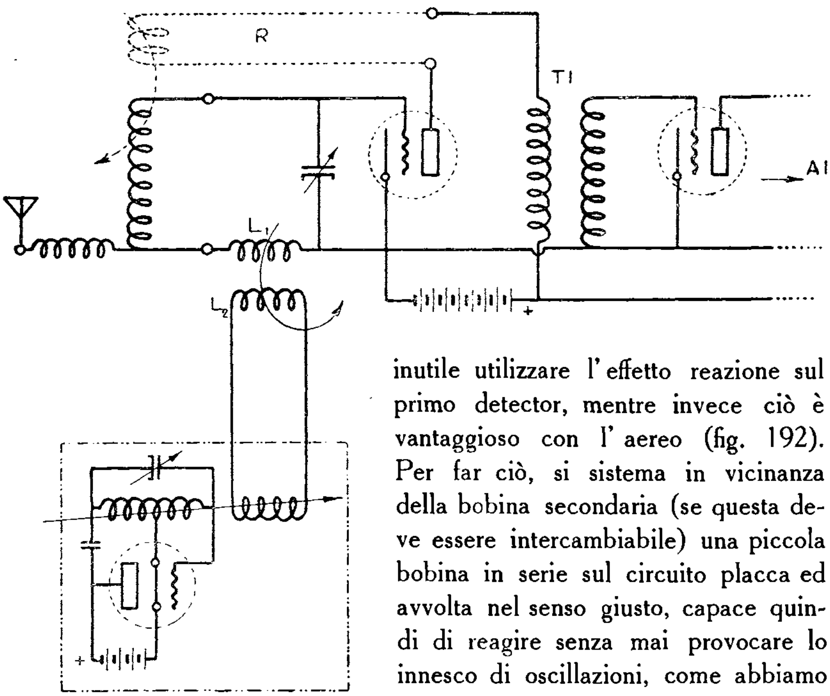


Fig. 192.

inutile utilizzare l'effetto reazione sul primo detector, mentre invece ciò è vantaggioso con l'aereo (fig. 192). Per far ciò, si sistema in vicinanza della bobina secondaria (se questa deve essere intercambiabile) una piccola bobina in serie sul circuito placca ed avvolta nel senso giusto, capace quindi di reagire senza mai provocare lo innesco di oscillazioni, come abbiamo già notato. Le bobine di accordo sono analoghe a quelle descritte a pag. 161, ma sono sprovviste d'accoppiamento con l'oscillatore. Esso è invece realizzato a parte a mezzo di due induttanze L, L_2 variamente accoppiabili, delle quali una è in serie col secondario e l'altra forma un circuito chiuso accoppiato all'oscillatore nella sua custodia.

In questo modo a seconda dell'intensità dei segnali è possibile modificare l'azione della eterodina locale. È preferibile che questa sia alimentata da batterie separate e ciò, usando una lampada a consumo ridotto con 30 volt o anche meno in placca, non è molto difficoltoso.

(¹) Brev. dell' A.

I due condensatori di mezzo millimicrofarad vengono muniti di verniero demoltiplicatore con rapporto elevato.

Il raddrizzatore ha una presa particolare di placca che permette l'uso di qualunque tensione fra 0 e 80 volt.

L'amplificatore intermedio è in tutto analogo all'altro, soltanto gli avvolgimenti dei trasformatori sono ad accoppiamento variabile per facilitare la messa a punto ed aumentare il rendimento. I due avvolgimenti primario e secondario sono montati come alla fig. 193, dalla quale inoltre è possibile rilevare ogni particolare costruttivo.

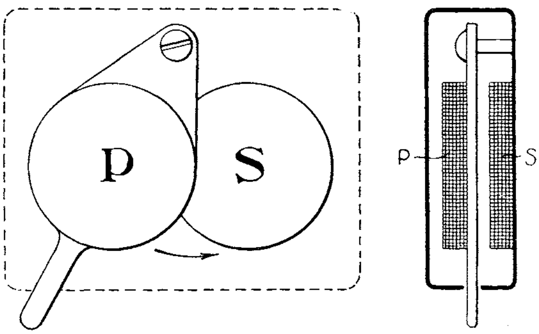


Fig. 193.

Tutto è racchiuso poi in custodia metallica, dalla quale sporgono delle asticelle isolanti per il regolaggio definitivo, dopo la necessaria taratura, che si esegue nel solito modo (v. pag. 121).

La ricezione è perfetta sotto ogni rapporto.

S. e. a seconda armonica. — Al principio del capitolo abbiamo veduto, come una delle prime realizzazioni di s. e., avesse usato un detector autodino sia per la rivelazione dei segnali, sia per il cambio di frequenza, e come lo svantaggio principale di questo sistema consistesse nel dovere grandemente disaccordare la sintonia per ottenere i necessari battimenti. Ultimamente, in vista di economizzare la lampada oscillatrice, si pensò di fare funzionare il detector anche da oscillatore, usando due circuiti separati; ma praticamente si vide come questi due circuiti si influenzavano a vicenda e come nei pressi del loro accordo l'oscillazione si spegneva. Allora si fece interferire l'oscillazione incidente, non già con quella propria di un circuito locale, ma bensì con un'armonica di questa, approffittando del caratteristico comportamento dell'audion *di emettere cioè assieme all'oscillazione principale numerosissime armoniche.* Praticamente dato il circuito A (fig. 194) se inseriamo in essó un circuito B accordato su la 2ª *armonica di* A e lo accoppiamo reattivamente colla placca, avremo eventuali interferenze fra la 2ª *armonica di* B e l'oscillazione incidente in A.

Più semplicemente, data un'oscillazione incidente in A (di 1.000.000

di periodi) se accordiamo *B* su la 2ª armonica di *A*, + o — la metà della frequenza dei battimenti desiderati (p. e. su 500.000 — 50.000 = 450.000 periodi) avremo, che la seconda armonica di *B* (cioè 900.000 periodi) interferendo colla frequenza di *A* (1.000.000) darà i battimenti richiesti (100.000).

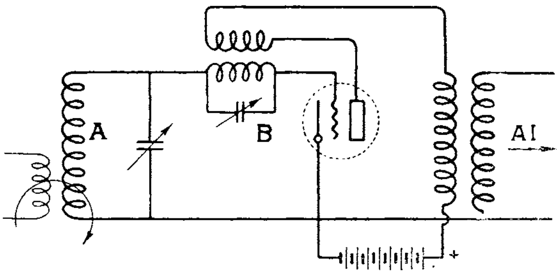


Fig. 194.

Ho insistito sull' argomento, poichè questo semplicissimo fatto è molto spesso male interpretato e capito. Questo sistema evita qualsiasi reazione fra i due circuiti *A* e *B*, per la diversità del loro accordo, ed ha il grande vantaggio di rendere praticamente nulla l' irradiazione; però la sua realizzazione non è così semplice come da prima potrebbe sembrare ed è consigliabile soltanto al vecchio conoscitore di s. e.

Questo circuito è stato ultimamente adottato per la costruzione di potenti ricevitori portatili con risultati molto buoni.

La s. e. « ultradina ». — Questo ricevitore che ha fatto tanto

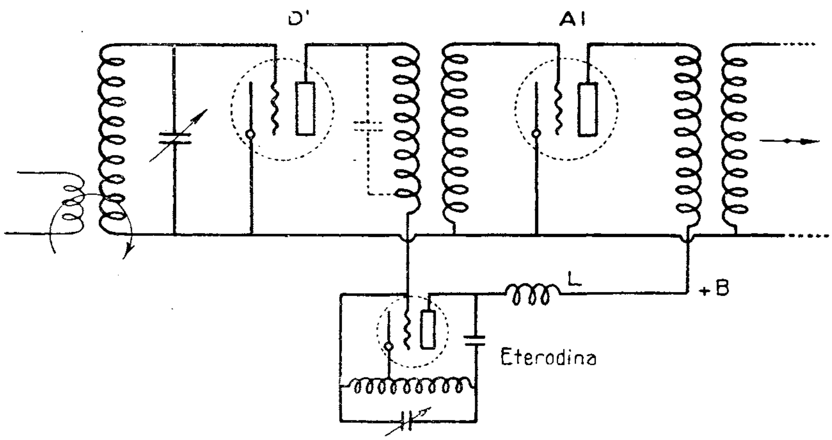
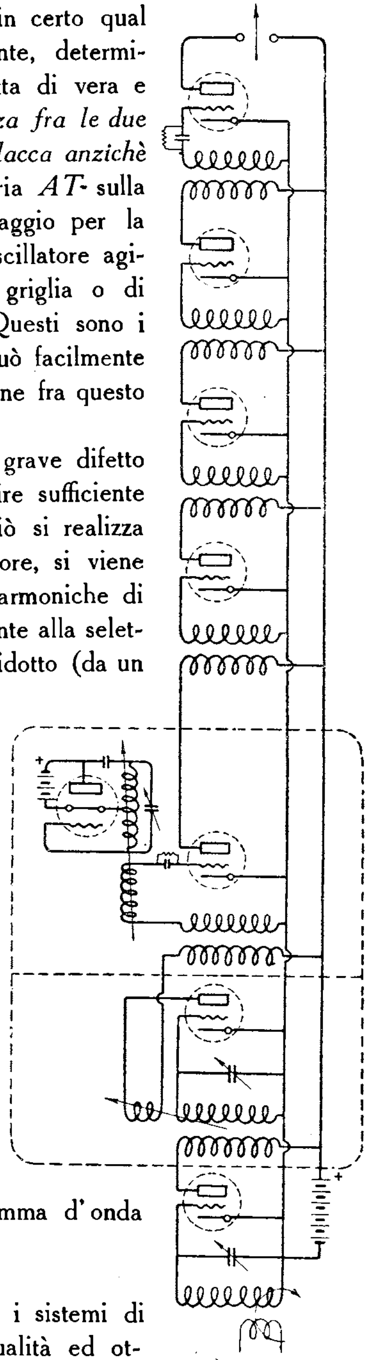


Fig. 195.

parlare di sè, non è, a rigore, che una s. e. il primo detector della quale, riceve sulla placca, invece che una corrente continua, una corrente alternata *AF* fornita dall' oscillatore locale (fig. 195). Ora, questa cor-

rente AF impressa sulla placca, viene in certo qual modo « modulata » dalla corrente incidente, determinando i soliti battimenti. Però, non si tratta di vera e propria *modulazione*, ma bensì *l'interferenza fra le due correnti* AF *è prodotta nel circuito di placca anzichè in quello di griglia.* L'assenza della batteria AT sulla placca del primo detector è un buon vantaggio per la ricezione di deboli segnali, e poichè l'oscillatore agisce sul circuito placca anzichè su quello griglia o di aereo, la irradiazione è molto diminuita. Questi sono i due vantaggi della ultradina, e il lettore può facilmente convincersi come essi siano la sola distinzione fra questo e gli altri sistemi di s. e.

Però assieme a questi vantaggi, vi è il grave difetto di richiedere un oscillatore potente per fornire sufficiente energia alla placca del detector. Ora, se ciò si realizza aumentando la tensione placca dell'oscillatore, si viene a rafforzare notevolmente l'intensità delle armoniche di di questo, con grande svantaggio specialmente alla selettività. Con le nuove lampade a consumo ridotto (da un quarto di A) è possibile tuttavia ottenere una buona potenza AF senza che l'intensità delle armoniche riesca molto grande. Praticamente con condensatori variabili di 500 mμf., il primario e la bobina dell'oscillatore possono farsi di 60 spire su tubo di cartone di 10 cm. Quest'ultima ha una derivazione alla 30ª spira da collegare col filamento. È consigliabile fare il primo trasformatore dell'amplificatore intermedio piuttosto selettivo, e cioè con poche spire al primario e un condensatore fisso in placca T. Occorre però badare sempre, quando si desideri la ricezione telefonica, che nella curva di risonanza di questo sia compresa tutta la gamma d'onda corrispondente a quella dei suoni.


Fig. 196.

Ultra-amplificazione. — Sfruttando i sistemi di ricezione esposti, è possibile riunirne le qualità ed ottenere risultati di estrema amplificazione.

Il sistema non è ancora entrato nella pratica, ma nelle mani di un buon esperimentatore si presta ad essere costruito senza soverchie difficoltà. Pensando di utilizzare un amplificatore neutralizzato prima del detector, sono riuscito, dopo un lungo lavoro esperimentale, ad impiegare ben 10 lampade amplificatrici, con rendimento, per

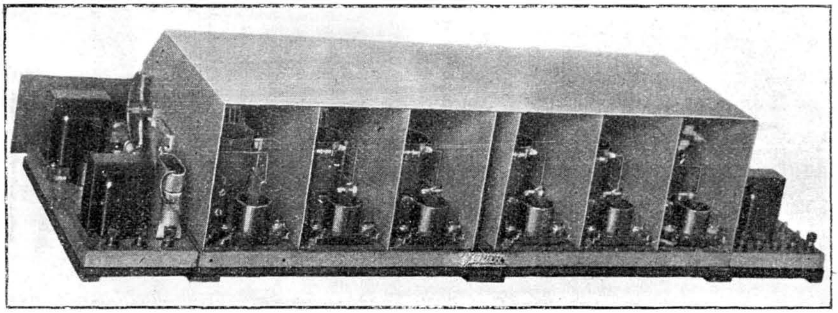


Fig. 197.

stadio, relativamente elevato, per onde fino a 250 metri (fig. 196).

L' insieme si compone di tre lampade amplificatrici *AF* (con trasformatori sintonizzati e con manovra unica, essendo tutti i condensatori accoppiati) di un primo detector, di un amplificatore a frequenza intermedia funzionante su 2600 metri e di un secondo raddrizzatore [1].

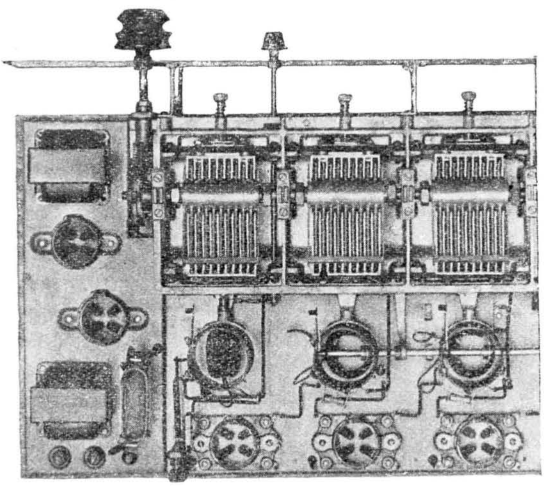


Fig. 198.

Il tutto può alla sua volta essere seguito da un gruppo di lampade amplificatrici *BF*, preferibilmente con accoppiamento a induttanze e di potenza sufficiente a controllare l' energia a disposizione. Mi è impossibile addentrarmi in particolari costruttivi su questo interessante ricevitore, perchè ciò richiederebbe una lunga discussione, e anche perchè esso è

(1) Quest' ultima lunghezza d' onda è stata scelta allo scopo di potere utilizzare l' amplificatore per la ricezione di segnali orari su 2600 metri.

tuttora nello stadio esperimentale (fig. 199), se pur il rendimento si dimostri dei migliori.

Tuttavia per facilitare coloro che, dotati di buona pratica volessero tentarne la costruzione, ricorderò le principali precauzioni e gli artifici da seguire.

— Condizione indispensabile è la protezione con schermi metallici *di tutti gli stadi amplificatori* e dell'oscillatore (sul tipo della figura 197);

— È conveniente sistemare da prima l'amplificatore neutralizzato, e

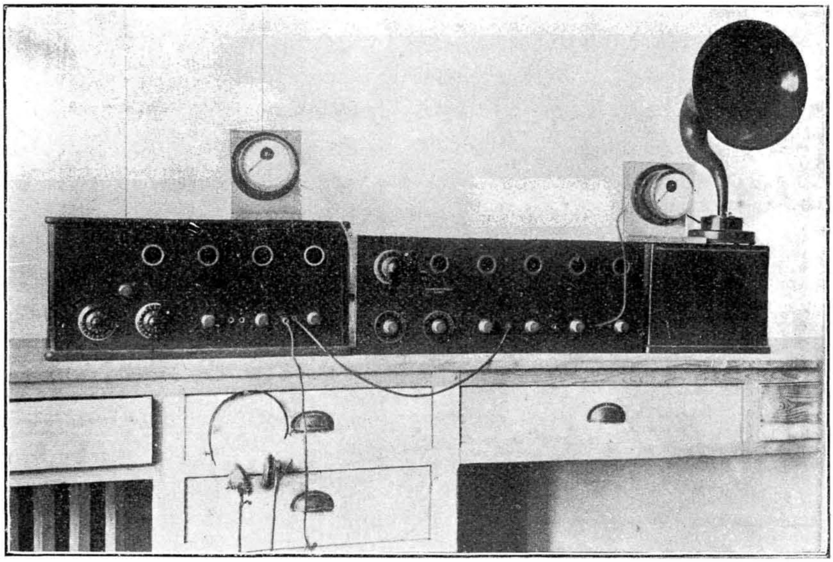


Fig. 199.

portarlo a funzionare nelle migliori condizioni, utilizzando eventualmente quanto si è scritto nel 3° capitolo;

— L'oscillatore (di potenza sufficiente) deve essere accoppiato al secondo detector a mezzo di linea *AF* analogamente a quanto si è detto a pag. 168;

— Le batterie dell'oscillatore debbono essere separate dalle altre;

— Il regolaggio, se il primo amplificatore è a un solo comando (fig. 198), è identico a quello di una solita s. e.

Generalmente non occorre alcun collettore (antenna, quadro ecc.), poichè a meno che la bobina secondaria non sia completamente schermata, la ricezione è possibile anche da stazioni molto lontane col suo solo uso. Si può aumentare grandemente l'intensità di ricezione accop-

piando *lascamente* al secondario un'antenna interna o esterna; ma in questo caso occorre assicurarsi che le ultime lampade dell'amplificatore intermedio non raggiungano la saturazione, poichè l'intensità dei segnali anche senza usare amplificazione *BF*, è molto intensa.

CAPITOLO V.

IL SISTEMA SUPER-REAZIONE

L'effetto reazione. — Per farsi un esatto concetto del come agisca questo sistema occorre anzitutto avere ben presente il funzionamento e le caratteristiche dell' « *effetto reazione* ». Ognuno dei tanti metodi escogitati per ottenere la reazione, ha per iscopo di riportare al circuito iniziale, l'oscillazione incidente, dopo averne aumentata l'ampiezza. In questo modo si viene ad aggiungere una certa quantità di energia locale al debole segnale incidente e quindi ad amplificarlo. Ora, la stessa cosa avverrebbe se si diminuisse la resistenza del circuito sede di oscillazioni; e poichè questa resistenza esiste e quindi è *positiva*, l'effetto reazione potrebbe essere paragonato all' introduzione nel circuito di una resistenza *negativa*, che aggiungendosi all'altra, ne riducesse il valore (v. pag. 19).

Si è *convenuto* quindi di dire che la reazione introduce una *resistenza negativa* nel circuito. Esaminiamo ora un circuito senza reazione, che possieda cioè soltanto una resistenza positiva. Un'oscillazione impressa in esso raggiunge in un tempo finito una determinata ampiezza, tanto maggiore quanto minore è questa resistenza e si riduce a zero quando cessa l'eccitazione.

Se si introduce la reazione, cioè la resistenza negativa, la *resistenza effettiva* diminuisce e l'ampiezza aumenta. Finchè la resistenza negativa è minore della positiva, l'ampiezza della oscillazione incidente raggiunge un massimo in un tempo finito e si annulla quando l'eccitazione viene a mancare.

Allora appare subito ideale fare la resistenza negativa uguale alla positiva, in modo che quella effettiva risulti nulla.

In questo caso un'oscillazione nel circuito, aumenta continuamente di ampiezza in dipendenza della f. e. m. applicata.

Se questa è applicata per un tempo finito, l'ampiezza dell'oscillazione diventa finita e determinata, mentre se fosse applicata per un tempo infinito, essa diverrebbe infinita. In tutti i casi, qualunque sia l'ampiezza raggiunta, essa si manterrebbe invariata e costante *anche togliendo la f. e. m. di eccitazione.*

Ciò non può verificarsi in pratica per le naturali imperfezioni dei mezzi di cui disponiamo e specialmente delle lampade elettroniche.

Consideriamo ora che cosa succederebbe se la resistenza negativa superasse la positiva. La resistenza effettiva del circuito sarebbe negativa cioè *meno che nulla.* Allora imprimendo per un tempo qualsiasi anche per un solo istante, una qualunque f. e. m. al circuito, l'ampiezza della oscillazione in esso, raggiungerebbe *sempre* l'infinito, in un tempo dipendente dal valore della f. e. m. impressa e dall'ammontare della resistenza negativa. Praticamente anche questo caso non è realizzabile, ma nondimeno l'ampiezza che raggiungerebbe una oscillazione impressa in un simile circuito, sarebbe grandissima.

Fare preponderare la resistenza negativa in un circuito, è molto semplice; basta cioè convenientemente aumentare in esso, l'effetto reazione.

Ma ecco che la pratica ci dimostra come coi mezzi attuali, sia impossibile costruire un circuito a resistenza negativa, senza che questo sia in costante oscillazione. Infatti abbiamo ora visto, che basta il più piccolo impulso per determinare un'oscillazione di ampiezza infinita o per lo meno grandissima: ora, una volta realizzato un circuito a resistenza negativa, ci sarebbe sempre questo particolare impulso (disturbi atmosferici, variazione di corrente alle lampade ecc.) che lo metterebbe in oscillazione continua. Si può praticamente asserire che *un circuito comincia ad avere resistenza negativa quando comincia ad essere sede di oscillazioni.*

Infatti in un circuito a reazione è noto il rapido aumento dei segnali nei pressi dell'innesco, il quale rappresenta il limite massimo dell'amplificazione. Ideale quindi sarebbe potere portarsi oltre questo limite (in resistenza negativa) senza che si innescassero, oscillazioni locali.

A questo tende il ricevitore a super-reazione.

Il concetto della super-reazione per dirlo colle parole dell'inventore è basato su questo fatto: « Se in un circuito contenente induttanza e » capacità si introduce una variazione periodica nel rapporto delle resi- » stenze negativa e positiva, in modo tale che la resistenza negativa sia » alternativamente maggiore e minore della positiva, ma il valore medio » di questa sia sempre predominante, il circuito non può spontaneamente » oscillare ».

In questo modo, nei periodi durante i quali la resistenza è negativa l'amplificazione può raggiungere altissimi valori.

In semplici parole con la super-reazione si è trovato il modo, di aumentare e diminuire alternativamente e con una grandissima rapidità, la resistenza effettiva di un circuito in modo tale che un istante a resistenza

« negativa » e quindi di grande amplificazione, sia subito seguito da un istante a resistenza « positiva » e quindi di ostacolo all' innesco di oscillazioni locali. Così analizzato il meccanismo della super-reazione si presenta come uno dei più suggestivi ed interessanti.

Considerazioni generali sui circuiti a s. r. — Per ottenere la variazione periodica del rapporto delle due resistenze, ognuna di esse o ambedue possono essere simultaneamente variate. La scelta della frequenza della variazione è molto importante. In primo luogo è bene ricordare come l' amplificazione è tanto più elevata quanto più piccola è questa frequenza, poichè un maggior numero di vibrazioni è compreso in ogni variazione. D' altra parte quando si riceve un' emissione telefonica la frequenza di variazione deve essere ultra udibile (per lo meno 10 mila periodi) per non creare un dannoso disturbo; invece per onde persistenti e telegrafiche in genere, è possibile aumentare di molto l' amplificazione, diminuendo la frequenza (fino a 500-1000 periodi). Però si ha il caratteristico fatto, che tutte le stazioni si ricevono con la stessa nota ed intensità, quindi la selettività può essere compromessa così che anche in questo caso, la pratica ha consigliato l' uso di una variazione ultraudibile e di una eterodina separata. Oltre a queste caratteristiche il ricevitore a super-reazione amplifica tanto meglio quanto più la frequenza incidente è elevata; dai 1000 ai 50-40 metri si può asserire che *l' amplificazione cresce inversamente al quadrato della lunghezza d' onda*: questo poichè alla stessa guisa cresce il numero di vibrazioni incidenti comprese in ogni variazione. Sebbene si fosse creduto che ciò dovesse verificarsi fino alle più piccole lunghezze d'onda, sembra oggi ben provato, come al di sotto dei 50 metri, l' aumento di amplificazione è inapprezzabile.

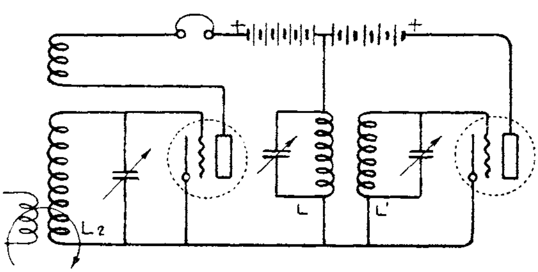


Fig. 200.

Cerchiamo ora di vedere come sia praticamente realizzabile quanto abbiamo esposto. La fig. 200 mostra un amplificatore a variazione di resistenza negativa. Infatti, la prima valvola è montata in circuito autodino, colla sola eccezione che il suo circuito di placca, fa anche parte di quello di una seconda lampada. Quest' ultima, oscillando a mezzo di adatto circuito (L L'), produce la necessaria variazione nel circuito

placca della prima variando l'effetto reazione e quindi l'ammontare della resistenza negativa.

Quando invece che con nota ultraudibile l'oscillatore funziona a *BF* è conveniente l'inserzione di una terza lampada funzionante da raddrizzatrice, ma questo caso è modernamente poco considerato.

Un caso di variazione della resistenza positiva è dato dalla fig. 201. La lampada oscillatrice varia la resistenza del circuito d'entrata, poichè il suo circuito sintonizzato si chiude attraverso l'induttanza della prima lampada. Ora quando la griglia dell'oscillatrice è negativa non si ha

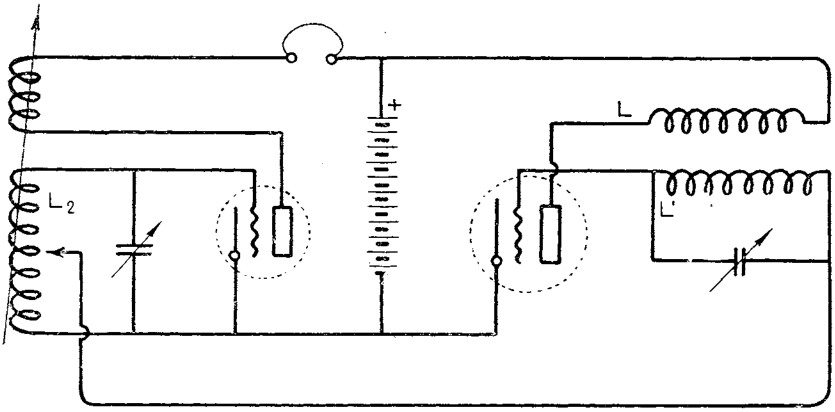


Fig. 201.

alcun effetto e il circuito principale ha una determinata resistenza, ma quando essa diventa positiva si ha una diminuzione dell'induttanza L_2 e quindi si ha l'effetto di un aumento di resistenza positiva.

Rendendo l'insieme un po' più difficile da regolare, si può ottenere una maggiore amplificazione inserendo la cuffia anzichè sul circuito placca della prima su quello della seconda valvola. In questo caso occorre regolare il potenziale di griglia dell'oscillatore affinchè esso possa anche funzionare da detector.

Questi due circuiti rappresentano in breve ed elementare sintesi il funzionamento della super-reazione. L'intensità di un segnale amplificato da essa varia, secondo l'inventore, fra centomila e un milione di volte quello che darebbe un comune ricevitore a tre valvole.

Tuttavia questo « *potentissimo* » ricevitore non si presta a grandiose applicazioni come da prima si credette; infatti un segnale tanto debole da non fare agire il primo detector non potrà mai essere rivelato. Altri segnali, appena percettibili, sono invece portati ad una grande intensità; ma nello stesso tempo segnali più forti di quelli e disturbi, che neces-

sariamente non mancano mai, sono ancor meglio amplificati rendendo impossibile la ricezione dei primi, Quindi la super-reazione si presta quasi esclusivamente per fornire una grande potenza quando l' intensità delle vibrazioni incidenti è già forte e predominante.

In casi speciali però, in località e stagioni propizie, si possono ottenere ottimi risultati di distanza. Noi esamineremo ora i vari sistemi pratici, escogitati per vincere le varie difficoltà e portarsi nelle migliori condizioni.

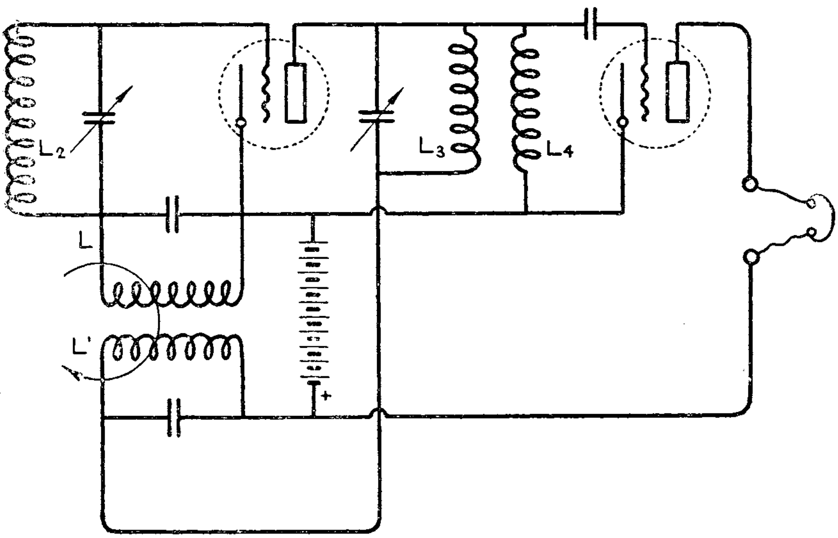


Fig. 202.

Ricevitore a s. r. a due lampade. — La pratica della s. r. ha dimostrato principalmente due cose: la necessità di un' interruzione ultraudibile da 12000 a 16000 periodi e quella della variazione della resistenza *positiva* del circuito.

È inutile e dannoso l' uso dell' antenna. Questa oltre ad apportare un grande aumento di disturbi ecc. determinerebbe nel raggio di molti chilometri dannose interferenze (usando onde corte non sarebbe troppo strano il caso di un segnale di s. r. udito al di là dell' oceano). Come risultato poi *non aumenterebbe di nulla l' udibilità dei segnali.* Poichè, occorre ben fissarsi in mente, che tutta la cura va spesa nel diminuire giudiziosamente la sensibilità del ricevitore anzichè aumentarla, per ottenere buoni risultati di distanza, poichè la potenza è sempre troppa e e più che sufficiente.

La fig. 202 mostra il circuito dell' apparecchio a due valvole in tutta la sua semplicità.

Dopo un secondario qualunque L_2 che può essere anche un comune quadro di piccole dimensioni, abbiamo il circuito LL_1 a frequenza ultra-udibile costituito da 2 bobine a nido d'ape di 1200 e 1500 giri rispettivamente shuntate da due condensatori fissi di 3 e 5 millesimi. Il loro accoppiamento deve essere variabile in modo dolce e continuo. La batteria di placca, ben dimensionata per evitare un eccessivo consumo della stessa, ha una tensione da 60 a 100 volts a seconda dell'intensità desiderata. Abbiamo quindi un circuito traslatore L_3 L_4, che ha lo scopo di rendere più stabile il funzionamento e che è semplicemente costituito da due circuiti di 10 e 40 spire bobinati di seguito su uno stesso cilindro. Un condensatore fisso di un quarto di millimicrofarad sulla griglia della seconda lampada, completa il materiale occorrente per la costruzione. Per assicurarsi del buon collegamento dell'insieme, accoppiando L ed L_1 si deve udire un suono altissimo e quasi impercettibile. Se ciò non avviene occorre invertire uno dei collegamenti. Una volta messa a punto questa parte, si toglie L, e manovrando i due condensatori, si osservano i punti pei quali si ha innesco di oscillazioni come si farebbe in un comune ricevitore a circuito placca accordato. Fatto questo e rimesso a posto L, si diminuisce o accresce l'accoppiamento con L_1, fino ad udire un forte bruscio come quando si innesca un ricevitore a reazione. Ancora qualche ritocco ai condensatori e l'apparecchio è a posto. Evidentemente però è impossibile descrivere tutti i piccoli artifici e regolaggi che la pratica fa poi dimenticare. Il costruttore dell'istrumento con molta pazienza e non sfiduciandosi riuscirà certamente a conoscerlo a fondo in breve tempo.

Ricevitore a s. r. a una lampada. — È possibile far sì che una sola lampada abbia tutte le funzioni in un ricevitore a super-reazione. La semplicità di manovra è tuttavia leggermente più complicata che nel tipo a due valvole ma sempre a portata di chiunque minimamente conosca il comportamento dei circuiti a reazione.

La figura 203 mostra il tipico circuito autodino che non ha di differente che il sistema a frequenza ultraudibile costituito come al solito da due induttanze a nido d'ape. Un condensatore variabile in parallelo su queste permette di stabilire una volta per sempre la necessaria frequenza con precisione.

Venendo a dati particolari, senza prendere in considerazione il solito circuito di sintonia, abbiamo quello di placca, adatto a reagire col primo, come in un qualunque ricevitore e quindi ad accoppiamento variabile; il telefono, la batteria di placca e finalmente la bobina dell'oscillatore

di 1300 spire shuntata da un condensatore C di 1 mμf e collegata a questo l'altra di griglia di 1500 spire shuntata pure da un condensatore C di 0.25 mμf. Queste due capacità non sono elevate perchè l'accordo è raggiunto col condensatore variabile in parallelo sulle due bobine che dovrebbe essere di 2 millesimi. Nel caso che una capacità così elevata non fosse disponibile si possono portare a 2 e 0.5 millesimi i valori degli altri condensatori. Sulla griglia il solito condensatore di 0.25 mμf e l'apparecchio è finito.

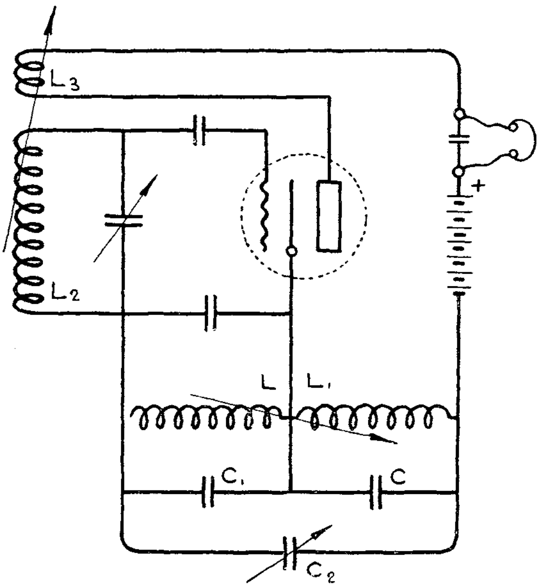


Fig. 203.

Non resta ora che imparare a conoscerlo e ad adoperarlo. A montaggio ultimato si porti al minimo l'accoppiamento fra L_2 ed L_3 e tenendo L ed L_1 ad angolo retto si aumenti gradualmente la capacità di C_2 fino ad udire un suono altissimo. Ciò deve accadere nei primi gradi del condensatore, altrimenti bisogna aumentare la induttanza L_1.

Quando si è sicuri che la produzione della frequenza ultraudibile è incominciata si accoppia fortemente la reazione e muovendo il condensatore di sintonia ci si accorda grossolanamente sull'emissione desiderata. Ritoccando ora, sia la reazione sia il condensatore C_2 si raggiunge il punto di migliore *udibilità relativa*, poichè sarebbe inutile spingere la amplificazione fino a produrre un insieme indecifrabile di segnali e rumori. In questo ricevitore più che nell'altro descritto, la pratica del costruttore permette di rendersi conto del regolaggio. Il condensatore di griglia può influire notevolmente sulle irregolarità di funzionamento, quali sibili, oscillazioni estranee ecc., quindi è bene sceglierne al caso il migliore valore. Quando le induttanze L ed L' sono troppo ridotte il suono è veramente ultraudibile e non si ha alcuna indicazione del funzionamento dell'oscillatore. Tuttavia stando bene attenti, si nota al momento dell'innesco un piccolo impulso al telefono che può essere utile. Però, come inizio, è

sempre meglio che la frequenza sia pressochè udibile e quando tutto funziona perfettamente basta aumentare di poco i condensatori per fare scomparire il suono nocivo.

La ricezione perfetta, specialmente della telefonia, dipende molto dal valore di questa frequenza ed è quindi variando C_2 che si trova il punto più conveniente. Questo ricevitore senza uso di aereo nè quadro permette una buona ricezione anche da stazioni lontane usando la sola bobina secondaria come collettore. Per avere la possibilià di far funzionare un alto parlante con grande intensità si può aggiungere una lampada amplificatrice a *BF*. Però questa deve essere specialmente scelta e così pure il trasformatore per potere quindi evitarne la paralizzazione dovuta alla potenza dei segnali. Occorre generalmente una lampada capace di qualche watt con 200/300 volts placca.

Altri sistemi di super-reazione. — Esistono moltissimi altri sistemi per fare variare la resistenza negativa e positiva di un circuito. Considereremo qui soltanto quelli capaci di dare buoni risultati nella pratica comune.

Uno dei più semplici è inavvertitamente alla portata di tutti. È infatti accaduto certamente a molte persone nel regolare i valori del condensatore o della resistenza di griglia di una lampada a reazione, di udire al telefono una serie di colpi il periodo dei quali poteva andare da qualche secondo fino ad una frazione tanto piccola da rendere il suono ultraudibile. Questo fatto è dovuto ad una periodica variazione della corrente media di placca, variazione che alla sua volta dipende dai valori del condensatore e della resistenza di griglia. È noto infatti che se il circuito griglia di una lampada (nel nostro caso a reazione) porta in serie un condensatore (v. pag. 91) le cariche negative che si accumulano continuamente sulla griglia, raggiungono un tale valore, da completamente impedire il passaggio della corrente placca. Questo se il condensatore è perfettamente isolato; poichè se un difetto d'isolamento fosse in lui, allora la carica negativa troverebbe in questo difetto un passaggio sufficiente, a scaricare la griglia stessa e a permettere il fluire della corrente placca. Ora se noi inseriamo un condensatore per quanto perfetto esso sia, osserviamo sì che la corrente di placca si annulla o diminuisce rapidamente, ma che a lenti intervalli essa riprende il suo valore. In questo caso la infinitesima conduttività del condensatore, funziona *da scarico* alle cariche negative che riesce periodicamente ad eliminare in maggior copia, di quante la griglia ne riceva, permettendo l'aumento di corrente placca. È evidente ora, che se noi, trascurando la

conduttività del condensatore, mettiamo in parallelo ad esso una elevata resistenza, variando questa potremo in certo qual modo regolare *lo scarico* di griglia e quindi portare la variazione di corrente placca ad una frequenza qualunque. Ora la variazione rapida di questa corrente in un circuito a reazione, non può che variare periodicamente la resistenza di questo, quindi è suscettibile di essere usata per permettere la super-reazione.

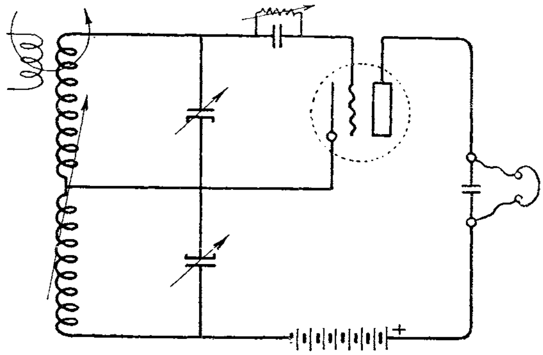


Fig. 204.

Il circuito, è quindi di una grande semplicità (fig. 204). Una induttanza griglia ed una placca accoppiabili, ambedue shuntate da condensatori variabili, un condensatore di griglia giudiziosamente scelto e infine una resistenza in parallelo *variabile nel modo più lento possibile.* Si accoppiano le induttanze in modo da ottenere la reazione e si cerca l'accordo essendo la resistenza di griglia ad un valore non molto elevato. Quindi si comincia ad aumentare l'accoppiamento reattivo e la resistenza di griglia fino a sentire il solito suono altissimo che sarà accompagnato da un grande aumento di amplificazione. Si ritoccano ancora i condensatori e la resistenza fino ad ottenere il migliore effetto. Questo circuito non dà certamente una intensità di ricezione paragonabile a quella degli altri descritti ma ha però il vantaggio che si presta meglio alle ricezioni da lontano quindi deboli. Se la resistenza variabile è molto ben fatta, è possibile avere nelle ricezioni telegrafiche degli effetti di grande amplificazione. Per ciò occorre

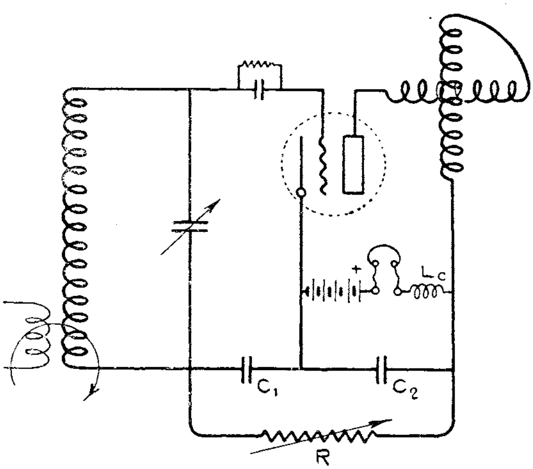


Fig. 205.

portarsi con la resistenza proprio là dove la modulazione locale si spegne. Regolando pazientemente l'apparecchio è possibile far sì che un segnale in arrivo, possa provocare di nuovo la modulazione locale che riproduce perfettamente la trasmissione con una intensità molto maggiore.

Un altro montaggio pratico e semplice è quello della figura 205. Esso ha il vantaggio di una irradiazione minore rispetto agli altri tipi. Il circuito griglia è costituito come al solito mentre quello placca è formato da un variometro di dimensioni appropriate all' onda da ricevere. Il telefono è in serie con una bobina L_c per impedire il passaggio dell' AF attraverso la sua capacità. Finalmente i due condensatori C_1 e C_2 di 1 millesimo e la resistenza R, al solito variabile continuamente, completano l'istrumento che può usarsi con buoni risultati anche con quadro specialmente in onde molto corte. Prima che il circuito sia « a posto » occorre regolare la resistenza R e quella di griglia. È bene potere regolare dolcemente l'accensione ed avere alcune prese variabili nella batteria di placca.

CAPITOLO VI.

LA RICEZIONE DI ONDE CORTE

Caratteristiche del ricevitore. — Si è convenuto di chiamare corte le onde inferiori ai 200 metri di lunghezza. Più particolarmente si dicono *corte* quelle fra 10 e 200 metri, *cortissime* quelle fra 2 e 10 e *ultracorte* le inferiori. L'altissima frequenza che è propria di queste onde, richiede cure e precauzioni speciali, affinchè le perdite nei vari circuiti siano ridotte al minimo. Considerando i vari amplificatori, abbiamo veduto come e perchè essi si prestino malamente quando la frequenza da amplificare superi un certo limite e come sia allora necessario ricorrere al sistema super-eterodina. Esamineremo pure qualche caso di amplificazione AF e la sua possibilità, ma più particolarmente studieremo il funzionamento e la pratica realizzazione del comune rivelatore « autodino » che oggi si dimostra come il più pratico e sensibile. Questo ricevitore in qualunque veste sia presentato, ha in sè qualche cosa di sicuro, di schematico, di positivo e si presta quindi ad essere studiato, costruito ed adoperato nel più facile dei modi. Esso richiede grande cura nella sua costruzione, ma gli elementi che lo compongono, sono tanto poco numerosi e così semplici, da giustificarla pienamente. Infatti essendo il funzionamento dell'apparecchio, se ben costruito, assolutamente sicuro, non è il caso di fare prove con montaggi provvisori e trascurati, ma bensì è evidente la convenienza di eseguire fin dall'inizio un montaggio il più possibile perfetto.

Ricordiamo ora alcune considerazioni di indole generale che possono riuscire utili:

a) Un ricevitore perfetto per onde corte deve possedere:

Sensibilità e facilità di auto oscillazione in tutta la gamma da coprire, selettività massima, costanza, elasticità. Inoltre è sempre preferibile quel ricevitore che irradia poco, per evitare il disturbo ai vicini.

b) Dicesi reazione o rigenerazione, una forma reattiva fra la corrente di placca di una lampada (e quindi amplificata) con quella incidente sulla griglia (e quindi da amplificare), in modo tale che questa

ultima venga notevolmente aumentata, rigenerata cioè, a spese di una sorgente locale di energia.

c) La sintonia è tanto meno acuta quanto maggiore è la resistenza *AF* del circuito risonante.

d) La resistenza diminuisce la risonanza e se sorpassa certi limiti la annulla addirittura. Si dice allora che il circuito funziona aperiodicamente.

e) La resistenza *AF* è determinata dalle induttanze, dai condensatori, dalle lampade, dagli oggetti a questi vicini ed ancora dai vari accoppiamenti fra circuito e circuito. Due circuiti vicini sono sempre accoppiati più o meno e la resistenza *AF* dell'insieme è tanto più grande quanto più il loro accoppiamento è serrato.

Da quanto abbiamo esposto si deduce, che nel nostro ricevitore il segreto della perfezione è praticamente racchiuso, nelle *induttanze*, nei *condensatori* e nei *collegamenti*, che consideriamo particolarmente, prima di esaminare le varie realizzazioni possibili.

Le induttanze. — Nel caso di onde corte la resistenza *AF* di un avvolgimento induttivo, può raggiungere valori elevati. Questa resistenza, quando il diametro del filo dell'avvolgimento è convenientemente scelto, non dipende praticamente dalla resistenza ohmica di questo, ma in gran parte dal dielettrico che lo circonda e col quale esso è in contatto; così l'isolamento, il tubo sul quale è avvolto e la vernice che lo ricopre determinano aumenti di resistenza.

Alla stessa guisa anche la prossimità di oggetti metallici o isolanti determina sempre un aumento di resistenza, quindi è conveniente tenere le spirali di induttanza lontane dalle altre parti.

Svariati sono i tipi di induttanza escogitati per avvicinarsi alle condizioni ideali. Fra tutti però i migliori sembrano quelli avvolti in un solo strato cilindrico o quelli così detti « Lorenz » che hanno il vantaggio di non richiedere alcun sostegno.

Riguardo al diametro del filo non è utile sorpassare di molto il millimetro, a meno di non spaziare grandemente le spire. Aumentando la sezione del rame, il campo intenso di ogni spira passa per il rame delle spire adiacenti, determinando notevoli perdite nel rame stesso e quindi aumento di resistenza dell'avvolgimento. Infatti si trova sperimentalmente che un avvolgimento con filo molto grosso ha una resistenza *AF* più che doppia del normale; per esempio una stessa induttanza fu avvolta con filo di 1.5 millimetri e di 3 millimetri e la resistenza misu-

rata a 100 metri d'onda fu rispettivamente di 8 e 25 ohms. Il diametro migliore per onde superiori ai 10 metri sembra essere fra 1 e 1.5 millimetri; per onde inferiori è possibile aumentarlo con vantaggio, poichè per le poche spire necessarie, si può abbondare nello spaziamento diminuendo quindi le perdite nel rame.

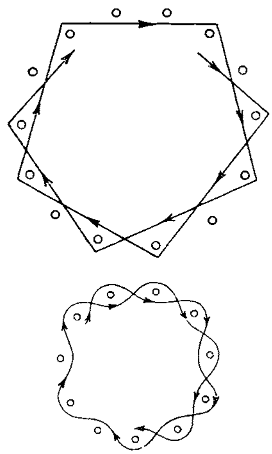


Fig. 206.

Nei riguardi della costruzione vi è ben poco da suggerire: l'induttanza tipo « Lorenz » si costruisce facilmente avvolgendola su un numero dispari di bastoncini disposti simmetricamente su un cerchio (fig. 206). Ad avvolgimento terminato si tolgono questi e si lega in qualche punto la bobina così ottenuta, oppure desiderando una grande rigidità si possono lasciare i bastoncini purchè siano di ottimo dielettrico (tubo di vetro p. es.), (fig. 207).

Però fra tutte le svariate forme di induttanza, il primitivo avvolgimento cilindrico semplice avvolto in aria, completamente o quasi, è senza dubbio il migliore. Così la presenza di un sottile cilindro di cartone ben secco, non apporta apprezzabili svantaggi almeno al di sopra dei 50 metri.

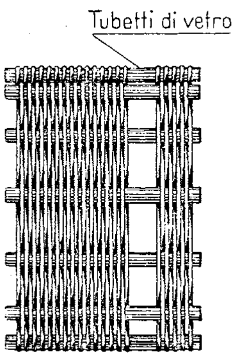


Fig. 207.

Per ottenere l'avvolgimento in aria, si possono bobinare le spire necessarie su una forma cilindrica, quindi toglierla e legare longitudinalmente le spire stesse, con uno spago in tre, quattro posizioni. Lo spago va disposto come alla fig. 208, e deve essere scelto in modo da lasciare sufficientemente spaziate le spire. La figura 209 mostra alcune induttanze per onde molto corte, costruite secondo questo concetto, usando rame nudo.

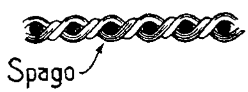


Fig. 208.

Un altro metodo abbastanza buono è quello di fare l'avvolgimento su uno scheletro isolante ridotto a proporzioni appena sufficienti per assicurare una conveniente rigidità meccanica (v. fig. 182 e 187). Un sistema ancora migliore consiste nel bobinare l'avvolgimento su un tubo di cartone, fissare le spire a regoli isolanti, quindi togliere il tubo stesso. Pra-

ticamente l' avvolgimento si eseguisce su un grosso tubo di cartone precedentemente tagliato lungo una generatrice e mantenuto con qualche artificio nella sua forma cilindrica. Prima di incominciare si fissano provvisoriamente in punti simmetrici tre o quattro striscie di celluloide lunghe come l' avvolgimento da costruire, che si sistema assieme a uno spago per mantenere una costante separazione fra spira e spira. Tolto infine lo spago si verniciano con *collodio* le spire, lungo le striscie di celluloide. Quando la vernice è ben secca si toglie il tubo di cartone e lo avvolgimento rimane perfettamente in aria, formando una induttanza di perfezione pressochè teorica e nello stesso tempo di una rigidità non comune.

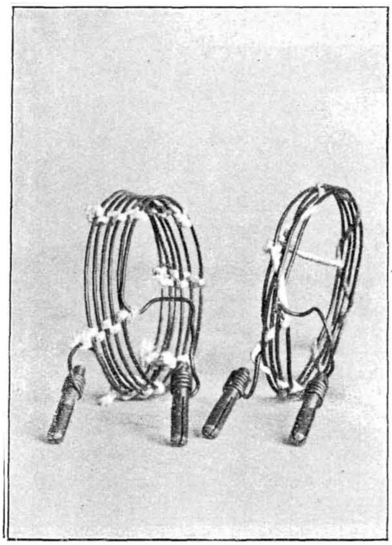


Fig. 209.

I condensatori. — I condensatori più importanti sono quelli « *variabili* » sebbene anche i « *fissi* » contribuiscano non poco al buon funzionamento.

Quando l' induttanza costruita è perfetta ed efficiente al massimo, ci si accorge della importanza di un buon condensatore variabile.

Anche in questo caso si ha una resistenza *AF*, che è tanto maggiore quanto meno perfetta è la costruzione e il materiale impiegato in questa. Questa resistenza si misura in generale a una frequenza di 1000 periodi: un condensatore della capacità di un millimicrofarad non deve avere una resistenza maggiore di 30 ohms a 1000 periodi per essere adoperato con buoni risultati, e un condensatore dei più perfetti può discendere anche a 10-15 ohms soltanto.

Il modo di isolamento fra le parti fissa e mobile e il materiale impiegato, è molto importante. Il dielettrico deve essere della *migliore qualità* e nella *minore quantità* possibile e collocato al di fuori del campo elettrostatico del condensatore o per lo meno dove questo non è intenso.

Le placche estreme che formano generalmente l' intelaiatura del condensatore, possono essere tanto isolanti, che metalliche. In questo secondo

caso, è necessario che la parte mobile sia solidale con queste e quindi messa a terra, per evitare completamente l'influenza della mano. Un condensatore costruito con placche estreme metalliche, è sempre da preferire: occorre però badare che la placca anteriore che porta l'albero di comando, non serva anche di sostegno alla parte fissa, altrimenti si avrebbero dei punti a potenziale elevato, che diminuirebbero di molto l'indipendenza dall'avvicinamento di corpi estranei.

I condensatori variabili del commercio possono essere:

a) a variazione costante di capacità;

b) a variazione costante di lunghezza d'onda;

c) a variazione costante di frequenza.

I due primi tipi sono i più comuni e differiscono per la forma delle placche che permette (almeno nella zona centrale della scala) una variazione uniforme di capacità rispetto allo spostamento per i tipi *a*, mentre per i tipi *b* una speciale sagoma fa sì, che la capacità cresca in rapporto geometrico rispetto allo spostamento, in modo che in unione ad un'induttanza qualsiasi, sia possibile una variazione uniforme di lunghezza d'onda.

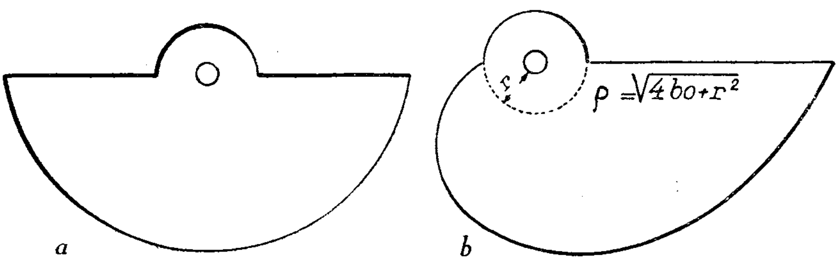


Fig. 210.

Le due forme sono illustrate dalla fig. 210. La prima è semicircolare ed è ben nota a tutti; la seconda si ottiene col calcolo (utilizzando la formula riportata in figura, espressa in coordinate polari). In questo calcolo si deve tenere conto del piccolo semicerchio punteggiato che necessariamente viene ad essere tolto alle placche fisse.

Quest'ultima forma, molto utile se il condensatore è ben costruito ed ha le placche esattamente spaziate, ha l'inconveniente di richiedere il montaggio eccentrico dell'albero di comando.

Modernamente per evitare ciò, si sono sagomate in modo speciale le placche fisse anzichè le mobili, con curve più o meno perfette a seconda del costruttore (fig. 211).

Evidentemente però in queste costruzioni, sebbene il calcolo della curva possa dare ottima approssimazione, è soltanto con precise misure e modifiche che si può giungere alla forma necessaria.

Il terzo tipo di condensatore a variazione costante di frequenza è meno facile a trovare in commercio, sebbene il suo uso riuscirebbe oltremodo utile nella ricezione di onde persistenti e in modo particolare di quelle corte per la regolare distribuzione dei battimenti che dipendono naturalmente dalla frequenza.

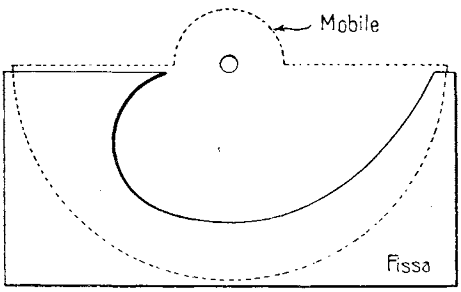
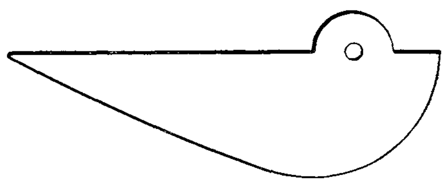


Fig. 211.

La forma pratica delle lamine di questo condensatore è quella della figura 212.

Esistono altre forme di variazione della capacità di un condensatore e se ne potrebbero creare di nuove, dando alle lamine curve derivate da particolari espressioni matematiche. Ma ciò esce dal nostro compito.

Le placche di un buon condensatore debbono essere saldate insieme. Infatti, nulla vi è di più nocivo, quando la frequenza è molto alta, di un condensatore con placche di alluminio strette fra loro, poichè l'alluminio si ricopre di un tenace ossido che necessariamente eleva di molto la resistenza dell'istrumento. Le placche quindi se non sono ricavate da un solo pezzo di metallo debbono essere di ottone o rame e bene saldate insieme.


Fig. 212.

Per finire poi l'analisi della parte elettrica di un condensatore variabile, ricorderò il contatto con le placche mobili. Sono noti i due sistemi: quello a frizione e quello con piccola spirale. Dei due è sempre raccomandabile il secondo: però, alle volte, (specialmente negli ondametri) il punto di arresto necessario in questo caso, può determinare col tempo dei piccoli spostamenti nella disposizione delle placche mobili, e quindi variazioni nella taratura. Ricorrendo alla spirale è bene ricoprirla con un isolante qualsiasi, per evitare che nel movimento, due punti differenti di essa vengano in contatto, determinando rumori estranei.

Prendiamo infine in esame la *parte meccanica* del condensatore: essa non è meno importante dell'altra, specialmente nel campo delle onde corte, dove i più piccoli spostamenti sono necessari. La parte principale è l'albero di comando. È perfettamente inutile ed anzi nocivo costruirlo in ottone. È noto infatti che due metalli uguali (in questo caso ottone contro ottone) determinano un aumento di attrito che alla fine produce un logoramento, sufficiente a rendere irrealizzabili le piccole variazioni. L'albero deve invece essere di ferro o meglio di acciaio, imperniato perfettamente in buoni cuscinetti metallici e mai nell'isolante, come spesso si usa fare. L'insieme deve essere compatto e le placche fisse e mobili disposte in modo da restare *perfettamente parallele e equidistanti in ogni posizione*. Questo particolare è della massima importanza specialmente quando si tratta di condensatori del tipo *b* (a variazione quadratica).

Senza entrare in particolari di costruzione, consideriamo un importante accessorio, e cioè il così detto « *verniero* ».

Tutti i sistemi di verniero, costituiti sia da un piccolo condensatore in parallelo, sia da una lamina mobile accessoria, non debbono essere usati, perchè determinano inevitabilmente un aumento di resistenza non trascurabile. Il verniero deve invece essere applicato allo stesso condensatore, sotto forma di un *riduttore*. Fra le migliaia di riduttori oggi in commercio, ben pochi rispondono allo scopo, poichè quando si tratta di ottenere da essi degli spostamenti micrometrici, anche il più piccolo gioco fra le parti è fortemente dannoso.

A parità di condizioni i migliori sono sempre quelli a *frizione o a vite senza fine* (v. pag. 172 e 200).

Non meno importanti dei variabili sono i *condensatori fissi*, e in modo speciale quelli di griglia. Essi rappresentano una parte del circuito poco considerata sia dai costruttori che dai consumatori stessi. Invece molto spesso la cattiva qualità e i difetti delle capacità fisse del circuito sono causa di inspiegabili rumori ed irregolarità di funzionamento. Un buon condensatore fisso deve essere *invariabile, efficiente e scrupolosamente isolato*. L'invariabilità è utile per trovarsi sempre nelle medesime condizioni di funzionamento; l'efficienza dipende dal dielettrico usato e dalla rigidità dell'insieme: (si è infatti scoperto che le maggiori perdite di un condensatore fisso provengono da impercettibili movimenti delle armature sollecitate dalle cariche impresse. Questi microscopici movimenti si evitano pressando fortemente le placche e facendole di spessore relativamente grosso).

Il migliore isolante, usabile con vantaggio, è *la mica di ottima qualità.* Il buon isolamento migliora il rendimento, ed evita i rumori estranei: infatti molti condensatori non presentano alcuna differenza una volta shuntati da una grande resistenza, appunto perchè rispetto a questa, il loro difetto d'isolamento è apprezzabile. Condensatori di questo genere montati sulla griglia diminuiscono la sensibilità, e montati nel circuito placca, determinano saltuarie variazioni nella corrente placca e quindi rumori al telefono. La figura 213 mostra alcuni condensatori fissi del commercio.

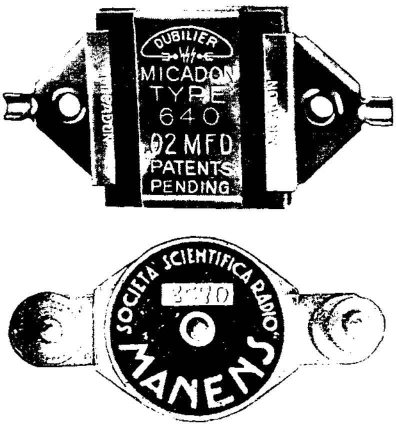


Fig. 213.

I collegamenti. — Ecco infine l'ultima probabile causa di resistenza dannosa.

Nessun contatto imperfetto è ammesso in un buon ricevitore ad onde corte; quindi abolizione completa di induttanze a prese variabili, commutatori ecc. Se si desiderano cambiare le induttanze è preferibile (a meno di non disporre di spine perfette) di fissare queste a mezzo di grossi serrafili.

I collegamenti di griglia debbono essere oltre che cortissimi, lontani da ogni altro conduttore o isolante, non debbono fare capo a grandi masse metalliche e saranno possibilmente saldati. L'estremità di griglia dell'induttanza va pure tenuta lontana da corpi e conduttori vicini. *Tutti* i collegamenti debbono essere rigidi e quindi a tratte non molto lunghe. A ricevitore ultimato deve essere possibile urtare l'apparecchio senza determinare una percettibile variazione d'onda.

Il circuito placca è molto meno importante di quello griglia, ma non per questo deve essere trascurato. Così dicasi del primario, l'accoppiamento del quale deve tenersi lasco con uno dei metodi che seguiranno. In via generale è raccomandabile sempre, abbondare nelle dimensioni e nella distanza fra le varie parti.

Con ciò ho finito la lunga raccomandazione, che per quanto possa apparire pedante, è dettata soltanto dall'esperienza e dal desiderio di raggiungere condizioni ideali di funzionamento.

Circuiti e costruzioni. — La pratica ha creato e battezzato un grande numero di « *circuiti* »: tutti però partono più o meno da quello

fondamentale e se ben costruiti possono dare rendimenti analoghi; quindi non è la scelta del circuito che deve preoccupare, ma bensì la sua migliore realizzazione.

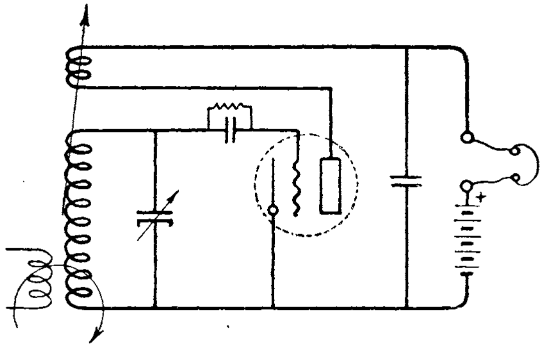


Fig. 214.

La fig. 214 ricorda il circuito classico dello Armstrong in tutta la sua semplicità.

Per la gamma delle onde corte il primario può essere costituito da 4-5 spire variamente accoppiabili al secondario. Quando la frequenza è molto elevata ho trovato vantaggioso il sistema della fig. 215, nel quale il secondario ad accoppiamento fisso è collegato con un solo capo all'aereo, mentre l'altro resta apparentemente libero, ma effettivamente collegato al secondario e quindi al suolo, attraverso la piccolissima capacità che intercede fra le due induttanze. Questo sistema permette di liberarsi da quelle zone nelle quali l'innesco non avviene (determinate dall'essere l'accordo sulla fondamentale o su una armonica dello aereo) senza pertanto diminuire per nulla la sensibilità ma anzi molto spesso aumentandola. Abbiamo infine la bobina di reazione. Il filo che la compone può essere sottile senza danno se il ricevitore non deve funzionare oscillando ma è bene sia reso analogo a quello del secondario in caso contrario; occorre usare il minimo numero di spire, sufficienti a determinare la reazione in tutta la gamma; la quale tuttavia non deve essere molto estesa altrimenti, nella zona inferiore, la reazione avrebbe un effetto notevole sull'accordo.

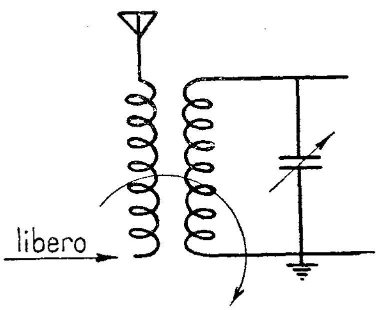


Fig. 215.

È questo infatti uno dei principali difetti della reazione elettromagnetica: di influenzare cioè l'accordo con la sua presenza, complicando quindi il regolaggio.

Il massimo effetto si ha quando la bobina « placca » è accoppiata all'estremo « griglia » del secondario: quindi è bene accoppiare sempre

la reazione all'estremo « filamento ». Essa deve per le stesse ragioni, avere un diametro inferiore a quello del secondario ed essere dolcemente accoppiabile a questo.

Spesso è inutile, aumentando la reazione, cercare di « vincere » una zona nella quale l'innesco non avviene. Invece è bene assicurarsi quali altre cause (antenna, collegamenti ecc.) determinano il difetto e adoperare quindi la medesima induttanza. Se la causa è nella risonanza dell'aereo, si può cambiare il periodo fondamentale di questo collegando una piccola induttanza variabile in serie (vedi figura 216).

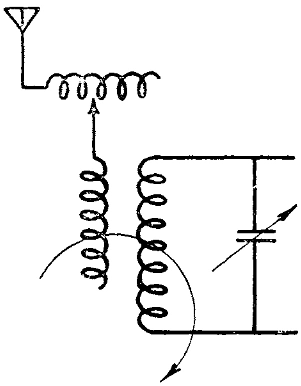


Fig. 216.

Al posto del secondario e del condensatore, è possibile inserire un variometro che, se perfetto, dovrebbe essere ideale, in quanto non determinerebbe un abbassamento di tensione della corrente oscillante, come nel caso del condensatore. Ma generalmente la capacità distribuita del variometro è sufficiente spesso a determinare e anche a superare questo abbassamento, a meno che la sua costruzione non sia perfetta.

Un buon variometro avvolto pressochè in aria su uno scheletro dielettrico ridotto al minimo, si dimostra veramente efficace.

Fra tutti i sistemi per regolare l'innesco di oscillazioni locali, il migliore sembra quello a mezzo di un condensatore variabile, poichè la perfetta costruzione di questo, permette anche i più piccoli e precisi regolaggi, l'influenza della mano dello operatore può essere evitata e così la presenza di bobine mobili e di congiunzioni flessibili.

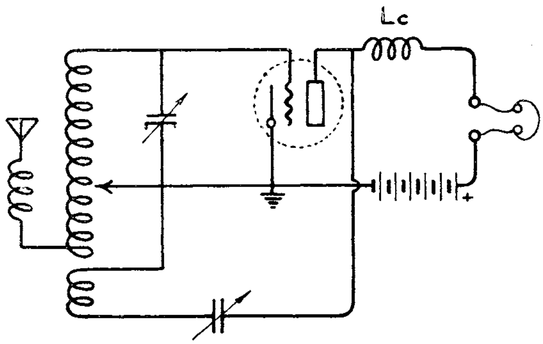


Fig. 217.

Una delle più note applicazioni è quella del Reinartz nel suo circuito (fig. 217). Il condensatore variabile è in serie con la bobina di placca che viene accoppiata al secondario, fino a permettere l'innesco di oscillazioni in tutta la gamma,

con la sola manovra del primo. Lo stesso sistema può applicarsi a qualunque circuito di ricezione (fig. 218).

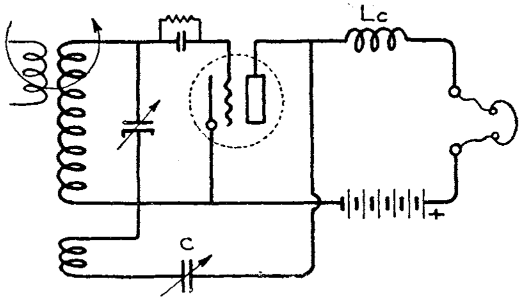
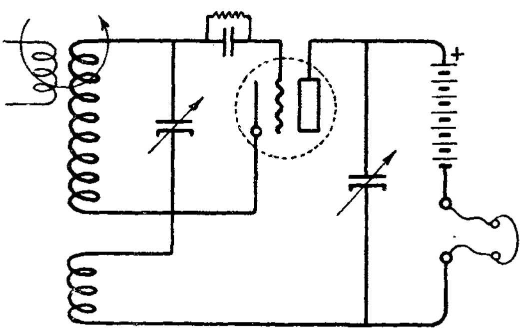


Fig. 218.

Se non si desidera la inserzione della bobina di blocco L_c, si può ricorrere al circuito della fig. 219, che è uno dei più indicati per ricezione di onde corte, poichè la reazione non ha alcun effetto sull'accordo.

Lo stesso circuito può essere perfezionato con l'aiuto di una elevata resistenza *R* (3000-5000 ohms) collegata come alla fig. 220.


Fig. 219.

Anche l'accordo del cicuito placca, che sfrutta la capacità interna della lampada per provocare lo innesco di oscillazioni locali, può essere applicato con ottimi risultati. Il circuito della fig. 221 costituisce un ricevitore molto pratico e che può scendere senza alcuna difficoltà alle onde più corte (3-4 metri) permettendo tuttavia, mediante bobine intercambiabili di arrivare oltre i 1000 m.

Al posto di *L* ed *L'* e dei relativi condensatori, possono usarsi con vantaggio due variometri di costruzione accurata.

Questi sono i principali circuiti suscettibili di dare buoni risultati fino alle onde più corte, allo stato attuale della tecnica. I dati pratici che seguono si riferiscono appunto ad essi.

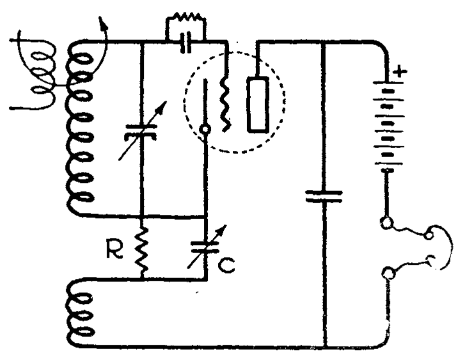


Fig. 220.

Ricevitore da 8 a 600 metri. — Il circuito scelto è precisamente uno degli ultimi presentati. I due condensatori, griglia e placca sono rispet-

tivamente di 0.25 e 0.50 millimicrofarad. Debbono ambedue essere muniti di verniero e sistemati in modo da non risentire menomamente l'azione della mano dello operatore (placche mobili a terra). Le induttanze vengono montate su una base di buon dielettrico che porta quattro serrafili che permettono il rapido e *sicuro* scambio (fig. 222).

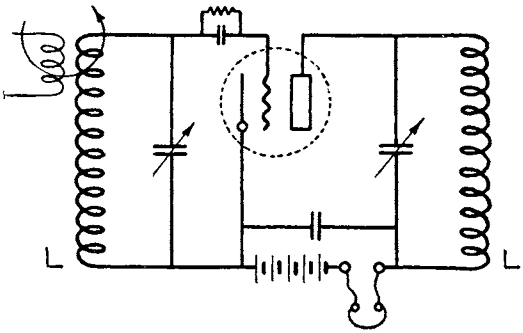


Fig. 221.

Su un lato di questa basetta, si può fissare il sostegno (legno o ebanite) che porta rigidamente lo avvolgimento di 5-6 spire del primario, da collegare, soltanto con un capo, all'aereo. Il negativo del filamento va posto a terra, sebbene di ciò sia spesso possibile fare a meno, senza diminuire il rendimento. Ad uno degli estremi del secondario, con una connessione corta, va fissato un condensatore fisso della migliore qualità, acquistandolo o costruendolo con cura, shuntato da una resistenza preferibilmente variabile e di provata « silenziosità ». Dovremmo infine considerare l'inserzione della cuffia, ma è consigliabile inserire direttamente un piano di amplificazione *BF* in modo che il circuito totale si completi nel minor spazio possibile. Nel caso di ricezione telegrafica il trasformatore *BF*, conviene abbia un grande rapporto fra primario e secondario, in modo da provocare un' acuta risonanza su una frequenza determinata. Ciò ha il vantaggio di amplificare fortemente il segnale telegrafico e in grado molto minore le interferenze e i disturbi (vedi pag. 129). Un rapporto 1-10 o 1-20 sembra il più conveniente. Ora se ne trovano in commercio di speciali risonanti appunto su mille periodi.

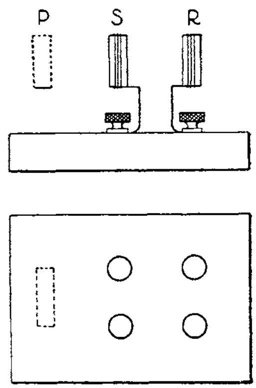


Fig. 222.

Il circuito completo è quindi quello della fig. 223.

Il tipo di induttanza più facile da costruire e di buon rendimento è quello così detto « Lorenz » bobinato con filo comune da campanelli ricoperto con grossi strati di cotone e *non verniciato*.

Risultati ugualmente buoni si ottengono con bobine cilindriche su

tubo sottile di cartone e ancor migliori con induttanze di filo di rame completamente in aria ottenute legando fra loro le varie spire da prima bobinate su una forma qualunque, (vedi pag. 188).

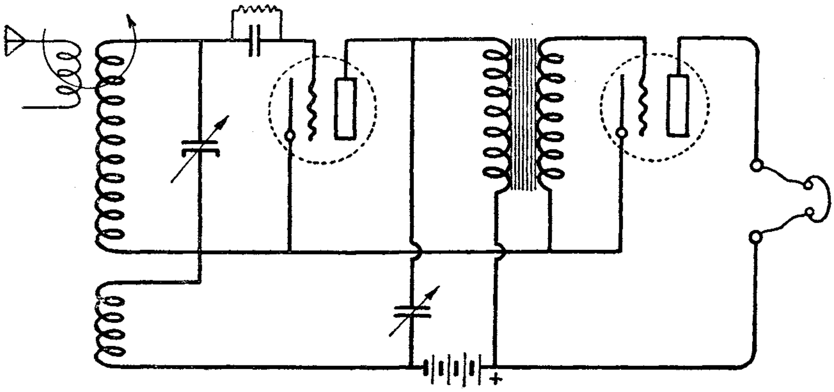


Fig. 223.

I valori dei primi due tipi sono dati con buona approssimazione dallo specchietto seguente:

λ	Secondario	Reazione	Diametro
8 — 12	2	3	5 cm.
12 — 25	4	3	8 »
22 — 50	10	6	8 »
45 — 100	18	20	10 »
90 — 200	25	40	10 »
150 — 350	40	40	10 »
300 — 600	60	40	10 »

L'ultimo tipo invece permette di raggiungere una lunghezza d'onda minima leggermente inferiore.

Le bobine si sistemano (allontanandole e inclinandole una rispetto all'altra) in modo da permettere il comando della reazione a mezzo del solo condensatore.

Il funzionamento riesce sicuro e perfetto fin dalle prime prove. Se ciò non fosse, si provi ad invertire la reazione, ad aumentare la tensione placca e ci si assicuri che l'antenna non sia in risonanza con l'accordo, disaccopiandola o togliendola addirittura. In buone condizioni l'innesco deve essere ancora possibile (fino a 30 metri di lunghezza d'onda) usando 10-15 volts placca con lampade ad alto vuoto.

Al di sotto dei 12 metri d'onda, l'accoppiamento fra i circuiti placca e griglia deve essere molto stretto per permettere l'innesco anche usando

esigui valori di induttanza. È perciò spesso utile avvolgere le due bobine su uno stesso sostegno con spire alternativamente vicine. Così usando una sola spira di griglia (diametro 15 cent.) posta fra due spire di placca dello stesso diametro è possibile discendere senza difficoltà a meno di 7 metri.

Ricevitore a variometri da 30 a 600 metri. — Per costruire questo ricevitore (da me usato con successo durante la campagna *RT* del 1924) occorre anzitutto provvedersi di due variometri elettricamente e meccanicamente perfetti. Essi sono del tipo corrente per 200-600 metri di accordo e sono bobinati in quattro sezioni (2 interne e 2 esterne) su due sostegni sferici.

In questo modo è possibile, collegando variamente le quattro sezioni, di coprire la gamma desiderata, restando costantemente in condizioni di massimo rendimento. Infatti, coi due variometri collegati in serie, si ha la gamma da 180 a 500-600 metri; collegando invece in parallelo la parte mobile e la fissa, si va da 60 a 160 metri; e alfine, collegando in parallelo alla mobile, le due sezioni della parte fisssa, si va da 30 a 100 metri con tutta facilità. In questo modo le induttanze sono sempre *totalmente* in circuito, con rendimento massimo quindi come se fossero cambiate volta per volta. La fig. 224, mostra l'insieme dei collegamenti da eseguire in due casi particolari: pel primo (*A*) occorrono sei spine collegate come al disegno (e cioè *abcd* all' avvolgimento e *G* ed *F* alla griglia e al filamento).

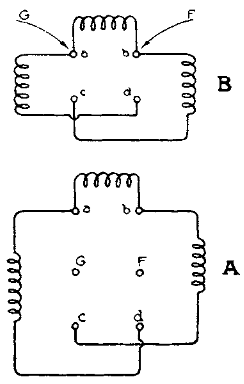


Fig. 224.

Cortocircuitando *Gc* ed *Fd* si hanno tutti gli avvolgimenti in serie quindi 200-600, cortocircuitando *Ga*, *Fb* e *cd* si hanno gli avvolgimenti in parallelo e quindi 60-150 metri; infine congiungendo *aGc* e *bFd* si ha la gamma da 30 a 90 metri.

Nel secondo caso (*B*) occorrono soltanto quattro spine *abcd* perchè griglia e filamento si uniscono direttamente ad *a* e *b*. Ciò prescrive la gamma di 200-600 metri e quindi serve a costruire un ricevitore speciale per onde corte.

I collegamenti vengono fatti con spine maschie in corto circuito.

I due variometri vengono montati in modo da reagire molto debolmente fra di loro.

La fotografia mostra la realizzazione del primo apparecchio del genere e più di ogni altro schiarimento può servire di aiuto nella costruzione (fig. 225).

Il funzionamento di questo ricevitore è dei migliori, specialmente per segnali molto deboli.

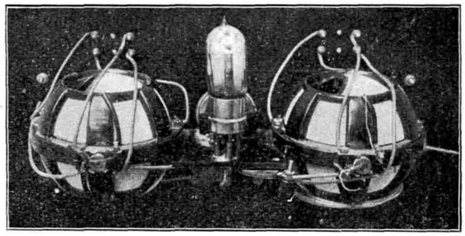


Fig 225.

Sistemazione dei ricevitori ad onde corte. — Un ricevitore ad onde corte deve, infine, rispondere a due principali requisiti e cioè alla stabilità assoluta d'accordo e alla possibilità di variare questo in modo micrometrico.. Ambedue sono estremamente importanti.

La stabilità d'accordo escludendo le cause esterne (antenne ecc.) è influenzata da molti fattori, fra i quali predominano le variazioni delle condizioni ambiente (corpi vicini, operatore ecc.) e le vibrazioni meccaniche che il complesso riceve.

Per questo è consigliabile che il ricevitore sia saldamente fissato, che le sue connessioni siano rigide e si trovi il più lontano possibile dallo operatore. Ideale sarebbe costruire il ricevitore nel modo più solido possibile e quindi fissarlo rigidamente ad un blocco di cemento (calcestruzzo) fondato sul terreno. Ciò è stato praticamente tentato con ottimi risultati.

Ad evitare l'influenza dell'operatore si preferisce allontanarlo dal ricevitore piuttosto che interporre schermi metallici. Questo fatto è collegato all'altro dalla variazione micrometrica d'accordo. Essa è necessaria, (data la grandissima variazione di frequenza che si deve comunemente coprire nella gamma delle onde corte), per evitare la possibilità di passare sopra l'accordo di una emissione (specialmente se debole) senza accorgersene.

I tipi comuni di verniero (rapporto massimo 1-20) pretendono dallo operatore una grande diligenza nella *lentissima* variazione da effettuare diligenza che comincia veramente a stancare quando la ricerca si prolunga varie ore.

Per rendere la ricezione delle onde più corte analoga a quella delle lunghe, occorre un rapporto di almeno 1 a 200 o più, manovrabile a distanza con la massima facilità. Basandomi su questi principi ho realizzato l'insieme illustrato nella fig. 226, dove il ricevitore è rigidamente

fissato ad un muro maestro e il regolaggio si effettua con un volantino pure ben fissato. Il rapporto può essere aumentato a volontà allontanando il ricevitore e quindi allungando la vite. Il sistema non è applicabile che quando si debba variare un condensatore poichè lo spostamento totale è soltanto di qualche decina di gradi.

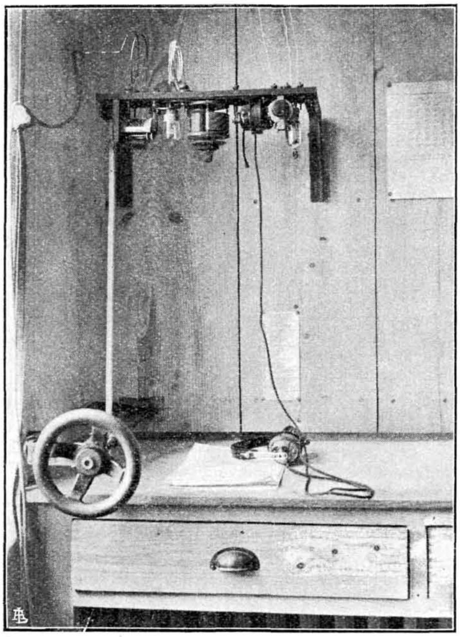


Fig. 226.

L' albero a vite rimane fisso, ruotando possibilmente su buoni cuscinetti metallici o a sfere e su di esso si sposta un piccolo cilindro che provoca il movimento dell' asta *A* costantemente sollecitata da *N* (v. fig. 227).

Con questo sistema le ricezioni più difficili sono grandemente semplificate: basta dare ogni tanto un piccolo colpo al volante e la variazione si effettua lentissimamente *da sè* fino a raggiungere l' accordo desiderato.

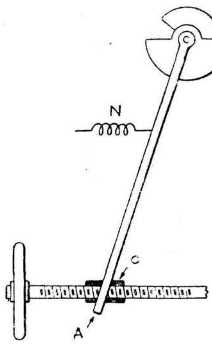


Fig. 227.

La vite deve essere di precisione, per evitare che vi sia un eventuale gioco che determina una zona neutra, allorchè si inverte il movimento, complicando la manovra.

Un altro sistema pure buono in pratica è quello di calettare sull' albero del condensatore o variometro un disco metallico o isolante di grande diametro e di applicare quindi su questo un piccolo verniero a frizione (fig. 228). Con un diametro di 25-30 cm. è possibile raggiungere un rapporto di $^{1}/_{40}$ - $^{1}/_{50}$ con una variazione dolce e regolare nei due sensi.

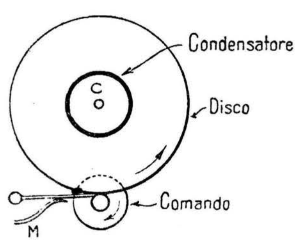


Fig 228.

Altri sistemi possono essere escogitati adottando una « vite senza

fine » con relativo ingranaggio. Se la precisione meccanica di questa è buona, il rapporto può spingersi ad un valore molto elevato.

Quanto ho suggerito riguarda naturalmente la sistemazione di un posto ricevitore fisso, che soddisfi ai migliori requisiti di praticità e di rendimento *effettivo.*

Ciò naturalmente non può raggiungersi nel caso di apparecchi portatili. Per questi e per quelli comunque montati in uno spazio ridotto, occorre scegliere vernieri a rapporto elevato assicurandosi però, che la così detta « zona neutra » sia ridotta al minimo possibile e che il loro movimento non produca rumori estranei.

Altri tipi di ricevitori. — Potrei continuare a lungo elencando e descrivendo vecchi e nuovi tipi di ricevitori per onde corte. Evito di far ciò, sia perchè le realizzazioni pratiche esposte rappresentano costruzioni vantaggiose e di ottimo rendimento, sia per non creare delle incertezze in qualche persona che sta iniziandosi in questo campo. I pratici, o gli studiosi che lo diverranno, non avranno certo difficoltà ad introdurre modifiche o migliorie.

Tuttavia voglio ricordare l' unico efficace tentativo di amplificazione *AF* in onde corte, che ha bisogno di essere continuato studiato e migliorato e che può fornire appunto per questo argomento di lavoro a qualche lettore.

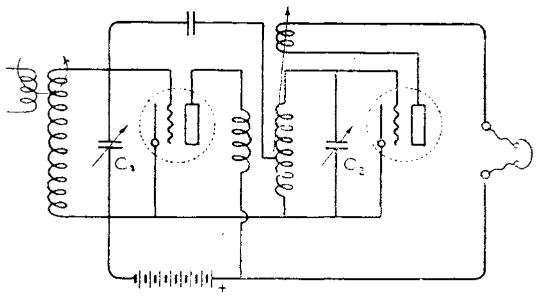


Fig. 229.

La fig. 229, mostra il classico circuito neutralizzato, quindi nulla di speciale se non nella costruzione pratica. Il circuito si neutralizza una volta ultimato, nel solito modo (v. pag. 144). Per onde da 15 a 80 metri possono servire questi dati nei riguardi del trasformatore *AF.* Primario due spire di 8 centimetri di diametro su tubo di cartone; secondario 5 spire (spaziate) avvolte vicino al primario. La presa per il condensatore neutralizzato è fatta alla seconda spira a partire dal filamento. La bobina di reazione si fa variamente accoppiabile nell' interno del trasformatore stesso ed ha 3-4 spire a seconda della costruzione dell' apparecchio. Per onde maggiori (da 200 a 600 metri) lo stesso insieme può egregiamente funzionare con un primario di 25 spire, un secondario di

80 ed una « reazione » di 20-30 spire. La presa del neutralizzatore si fa alla 20 a. spira dal filamento.

Una volta neutralizzato il ricevitore, si fissa la reazione al giusto accoppiamento e l'accordo può effettuarsi coi soli condensatori C_1 e C_2 (0,25 millimicrofarad).

Ricevitori per onde cortissime. — Per onde inferiori a 10 metri occorrono maggiori cautele è quindi ricevitori specialmente costruiti. Fino a 2 metri d'onda è possibile efficacemente usare la lampada raddrizzatrice a reazione (v. fig. 237 e 238).

Con lampade speciali si può diminuire ancora, ma ciò è in un periodo di indagine e di ricerca e non si presta ad essere comunemente realizzato.

Si raccomanda spesso di togliere la base alla lampada per evitare capacità nocive. Tuttavia se la base è elettricamente buona (porcellana), essa può ben poco influire. Effetti invece molto dannosi, si notano quando il dielettrico che compone la base stessa è scadente (materia stampata per esempio).

Il circuito indicato per onde da 8 a 600 metri può scendere ottimamente fino a 3 metri ed anche 2.50 se invece di mettere il condensatore in parallelo all'induttanza lo si mette in serie (fig. 230). La capacità di questo può essere relativamente elevata (0.25 mμf) e in tutta la sua scala la variazione non supera i 40-50 centimetri, se l'ordine d'onda è di 3-4 metri. L'esigua induttanza è bene sia quindi intercambiabile, per avere la possibilità di coprire tutta la gamma da 3 a 10 metri, e così la bobina di placca.

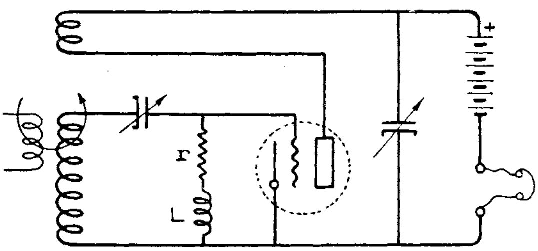


Fig. 230.

Ma occorre ben tenere presente che *ogni centimetro* di connessione influisce fortemente sulla lunghezza d'onda risultante e che quindi è proprio il caso di ridurle al minimo.

Il diametro delle induttanze è di 3-5 centimetri ed esse sono del tipo completamente in aria. Si avvolge cioè del filo di rame nudo di 3 millimetri su un cilindro di legno, che infine si sfila allargando le spire affinchè distino mezzo centimetro e più una dall'altra. La capacità della lampada ha una notevole influenza sulla frequenza d'oscil-

lazione; ma con buona approssimazione i valori della tabella possono dare una idea della induttanza necessaria per coprire la gamma da 3 a 10 metri.

λ Centimetri	S	R
300 — 350	3/4	1
400 — 450	1	1
500 — 550	2	2
600 — 700	4	3
700 — 800	6	3
800 — 1000	10	5

Spire rame in aria δ 3 cm.

Sulla griglia si monta una *minuscola* resistenza collegata al filamento attraverso ad una bobina d'arresto (30 spire di 0,2 mm. bobinate su una piccola provetta spaziate con un filo).

I condensatori debbono essere muniti di manici lunghi almeno 70-80 cm. poichè l'influenza dell'operatore è molto sentita.

L'antenna si può accoppiare al secondario collegandola con un primario di 1-2 spire, che abbia libero l'altro estremo e quindi sistemandolo rigidamente a 20-30 cm. di distanza.

Un altro sistema pure conveniente è quello di avvicinare qualche centimetro di filo rigido alle placche del condensatore (3-4 cm. distanti 1-2 cm.) e allora l'accoppiamento si ottiene per capacità. Migliori risultati si ottengono con antenna accordata.

Ricevitore da 5 a 6 metri. — La gamma da 5 a 6 metri fu una delle prime ad essere « esplorata ». Successivamente i vari Governi ne permisero l'uso esperimentale; quindi può essere utile a qualcuno un ricevitore adatto per questa. Il circuito è quello solito di una lampada a reazione (figura 231) e differisce soltanto nella costruzione. Il sistema è essenzialmente costituito con una spira di rame *L* che porta alle estremità due armature che possono avvicinarsi ed allontanarsi a mezzo di un eccentrico (fig. 232) formando così il condensatore variabile. La reazione è fissa ma, volendo farla variabile basta

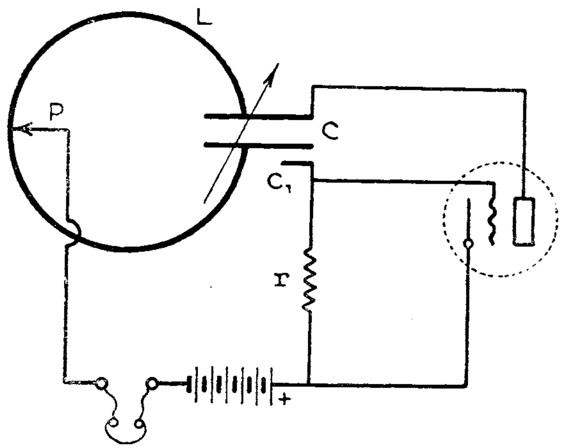


Fig. 231.

rendere mobile la presa P in modo che strisciandola sulla induttanza ci si possa portare nei punti di migliore rendimento.

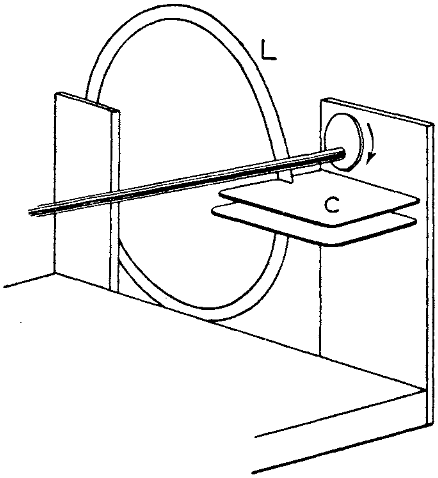


Fig. 232.

Il condensatore di griglia C, si costruisce avvicinando una piccola lamina metallica a C.

Questo apparecchio è facilmente, costruibile e dà buoni risultati.

La ricezione delle onde ultra corte. — Siamo ormai giunti al campo primamente esplorato dai grandi precursori. La ricezione delle onde inferiori a due metri presenta notevoli difficoltà se una relativa efficenza è necessaria. Innanzi tutto la valvola, anche la meglio costruita può difficilmente scendere ai di sotto di un metro e cinquanta. Se ciò può bastare il montaggio del ricevitore, da me adottato, è dei più semplici.

Si fissano alla griglia o alla placca di un triodo due placchette metalliche affacciate che formano assieme ai collegamenti interni il circuito oscillante necessario (fig. 233).

La cuffia si collega attraverso una piccola bobina d'arresto (30 spire di 0.2 mm. su una matita).

Per variare entro certi limiti la lunghezza di onda si può fare in modo che sia possibile cambiare la distanza delle due placchette con un comando molto lungo.

Se si dispone di una resistenza di griglia di *piccolissima capacità* la si può inserire fra griglia e filamento attraverso una bobina d'arresto analoga a quella di placca.

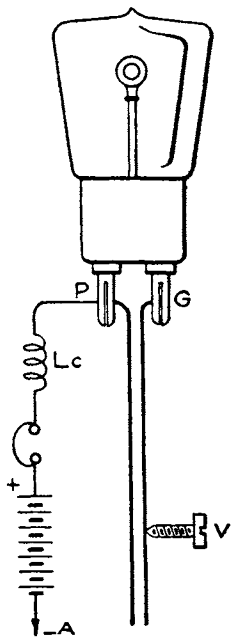


Fig. 233.

Chi non teme di abbreviare la vita della propria lampada (ridurla cioè a poche ore e spesso a pochi minuti) può perfino fare a meno di queste due placchette, aumentando fortemente l'accensione e la tensione placca, e la lampada allora

oscilla spontaneamente con induttanza e capacità proprie nei pressi del metro.

Ciò non si verifica con tutte le lampade del commercio, quindi la ricerca della lampada migliore non è molto consigliabile.

Il circuito realizzato è veramente caratteristico e richiede ben poche spiegazioni (fig. 234).

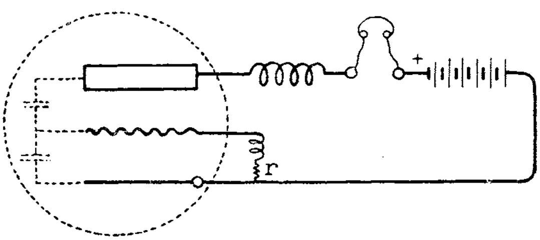


Fig. 234.

La ricezione di frequenze più elevate è, almeno fino ad oggi, abbastanza difficile. I circuiti usuali non possono più servire nè la valvola ionica può più esplicare le sue preziose qualità. Bisogna allora ricorrere a mezzi più rudimentali di ricezione, aspettando che il futuro li migliori.

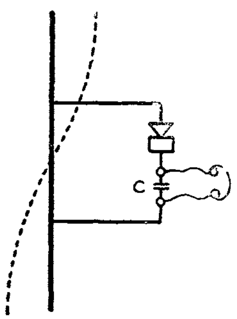


Fig. 235.

Il vecchio cristallo ritorna un rivelatore di primo ordine e ci permette di arrivare alle onde più corte senza eccessive difficoltà. Un sistema di questo genere può essere quello della fig. 235 che rappresenta una antenna *A* (un bastoncino di rame di qualche decimetro) collegata ad un cristallo e ad un telefono, in uno dei modi ben conosciuti. Al posto della cuffia si può inserire un potente amplificatore *BF* (fig. 236), [1]. Questo deve essere protetto con schermi metallici (di ferro) per rendere

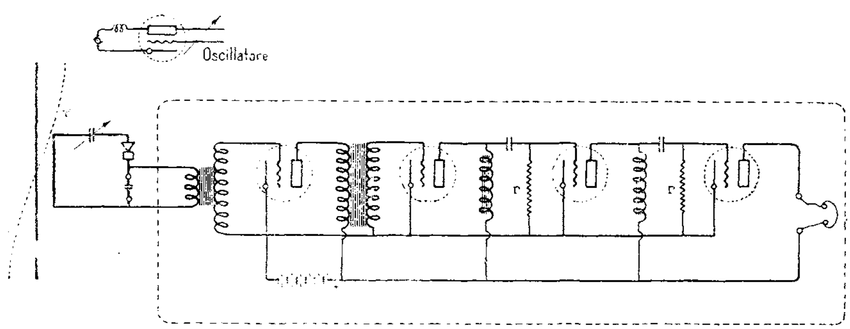


Fig. 236.

[1] Usando un raddrizzatore molto resistente conviene costruire un circuito chiuso fra cristallo e telefono e collegarlo *con un solo filo* al circuito oscillante (v. parte 3ª, cap. 3°).

minimi i disturbi *BF* e per permettere quindi l' ascolto di segnali molto deboli.

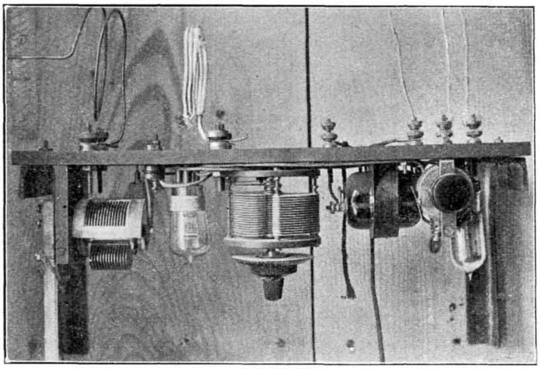


Fig. 237.

Occorre naturalmente che l' emissione sia modulata.

Per poter ricevere un'emissione persistente possiamo ancora ricorrere per l' ultima volta alle nostre lampade e produrre i battimenti a mezzo di un armonica (fig. 236). Basta quindi avvicinare al detector un oscillatore che funzioni su un' onda più elevata e variare questa finchè non si trovi l' armonica desiderata.

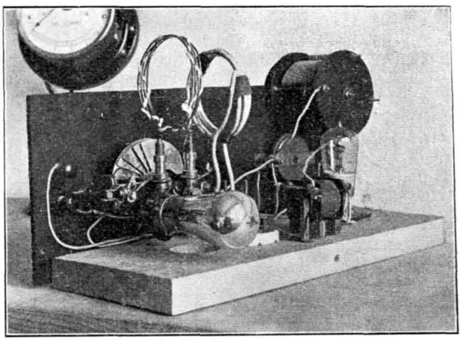


Fig. 238.

Il campo di indagine è estremamente interessante, specialmente se considerato in unione agli effetti di riflessione, che non richiedono ormai che « specchi » metallici di proporzioni usuali ; l' avvenire ce ne mostrerà certamente le applicazioni che volonterosi studiosi ci daranno il modo di ammirare (1).

(1) Per ulteriori notizie circa la ricezione delle onde corte, vedi parte 5ª.

PARTE TERZA

CAPITOLO I.

IL SISTEMA RADIANTE

L'antenna. — La più semplice *antenna* è un conduttore verticale sottratto completamente all'influenza dei corpi vicini. Le caratteristiche di questa antenna sono determinate:

— dall' *induttanza distribuita* lungo il filo che è praticamente uniforme in tutta la sua lunghezza;

— dalla *capacità distribuita* tra il filo e la terra che è generalmente variabile in ogni punto di esso;

— dalla *resistenza distribuita* dovuta alle varie perdite, che è praticamente uniforme in tutta la lunghezza del filo.

Per una data antenna questi tre fattori variano col variare della frequenza.

Resistenza d'aereo. — Un'antenna può paragonarsi ad un circuito qualsiasi che assorba una certa potenza elettrica.

Data una certa *intensità* in questo circuito, esso può sempre sostituirsi con una *resistenza* che lasciando passare la *stessa corrente*, determini l'assorbimento della *stessa potenza* (v. pag. 19).

Questa resistenza *convenuta ed irreale* viene chiamata *resistenza effettiva* dell'antenna.

Essa è determinata alla sua volta dalla somma di due resistenze e cioè della *resistenza di irradiazione* e della *resistenza di perdita*.

Resistenza di irradiazione. Questa resistenza serve per paragonare con un termine analogo il circuito irradiante alla resitenza che assorbirebbe una potenza uguale a quella *irradiata* quando l' intensità della corrente rimanesse la stessa (1).

(1) Dalla legge di Joule questa resistenza si ottiene dividendo la potenza irradiata per il quadrato dell'intensità della corrente di aereo (v. pag. 20). Su numerosi dati esperimentali si sono costruite formule empiriche per calcolarla che sono però ben lungi dall'essere mate-

Resistenza di perdita. Questa resistenza che dovrebbe essere ridotta ai valori più piccoli è determinata da:

a) *perdite per resistenza intrinseca del conduttore d'aereo.* Queste perdite possono essere rese trascurabili adottando conduttori di adatto diametro e sostanza come si vedrà in seguito.

Non è a credersi che aumentando grandemente il diametro ci si avvicini sempre più alle condizioni ideali, perchè oltre un certo limite altre dannose perdite subentrano nel filo stesso;

b) *perdite per resistenza di terra.* Vengono diminuite usando un contrapeso (v. pag. 51) nel quale tuttavia esistono per effetto Joule a cagione della resistenza di questo.

c) *perdite nei dielettrici circostanti.* Sono dovute al fenomeno di isteresi molto pronunciato specialmente nei cattivi isolanti.

Sebbene per frequenze basse costituiscano una delle principali perdite, esse sono molto meno sentite col crescere della frequenza e precisamente il loro aumentare è in rapporto diretto con la lunghezza d'onda.

d) *perdite nei conduttori vicini.* Dovute a fili, pali e masse metalliche nelle immediate vicinanze dell'antenna e specialmente ai supporti di questa se metallici. Nel caso di onde lunghe la sostituzione del supporto metallico con uno di legno può diminuire il rendimento a cagione dell'aumentata perdita nel dielettrico mentre a frequenze molto elevate la cosa diventa necessaria.

Infatti *l'entità delle perdite nei conduttori vicini è inversamente proporzionale alla* λ;

e) *perdite negli isolatori.* Possono essere costituite da vero e proprio diffetto di isolamento (ma poichè l'ammontare di esse è direttamente proporzionale al quadrato della λ, ciò è molto improbabile nel caso di onde corte).

Piuttosto lo sono spesso per eccesso del medesimo.

maticamente precise per le svariatissime condizioni di impianto e di esperienza. Per un'antenna semplice si possono adottare le espressioni:

$$\text{Potenza irradiata} \ldots \quad Wi = 60\pi^2 \frac{I^2\, l^2}{\lambda^2}$$

$$\text{Resistenza d'irradiazione} \quad Ri = 60\pi^2 \frac{l^2}{\lambda^2}$$

dove l è la lunghezza d'aereo in metri e λ la lunghezza d'onda. A seconda del tipo di antenna la resistenza può essere solsanto una parte di questa (generalmente $^1/_2$-$^1/_4$).

Per una data frequenza quindi un'antenna irradia nelle migliori condizioni quando la sua Ri è massima. Dalle espressioni precedenti si nota anche che la Ri è *inversamente proporzionale al quadrato della lunghezza d'onda.*

Infatti un isolatore qualunque *I* (fig. 239) agisce come un condensatore di capacità tanto maggiore quanto più notevoli sono le sue dimensioni.

A frequenze alte e altissime può darsi che mentre l'isolamento a *CC* è perfetto, quello ad *AF* non lo sia affatto appunto a cagione della troppo grande capacità degli isolatori.

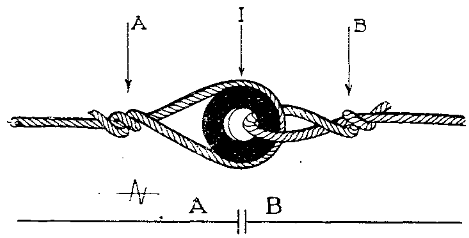


Fig. 239.

Isolatori lunghi e sottili, compatibilmente con lo sforzo di trazione da sopportare, debbono essere adottati.

Le perdite elencate possono considerarsi come le uniche per i casi che esamineremo data la potenza relativamente piccola e la gamma d'onda. Negli impianti più notevoli subentrano altre perdite che non staremo ad esaminare.

Antenna verticale. — Consideriamo ancora il caso di un semplice filo verticale messo in contatto col suolo all'estremo inferiore. L'induttanza di un tale sistema è quella posseduta dal filo stesso, mentre la capacità è quella rispetto al suolo, come già si notò. Una corrente ad *AF* qualunque, immessa in questo filo, « fluisce » attraverso la capacità aereo terra. Essendo questa tanto minore quanto più ci si allontana dal suolo, avviene che alla stessa guisa diminuisca la corrente *AF*.

Essa è dunque *massima alla base e nulla alla estremità superiore.*

Non così si comporta la tensione *AF*. Infatti alla base è nulla (contatto col suolo), ma mano mano che ci si allontana lungo il filo, essendo una sempre maggiore induttanza interposta fra il punto in esame e il suolo, la tensione va via via esaltandosi, raggiungendo un massimo all'estremità superiore. Questo identico fenomeno dell'aumento di tensione col progredire dell'induttanza interposta, è anche riscontrabile nei comuni impianti elettrici a frequenza bassa (30-60 periodi). Infatti nel caso di linee molto lunghe si nota un graduale aumento di potenziale, coll'allungarsi della linea stessa.

Riassumendo, abbiamo che: « *un'antenna comunque eccitata presenta un massimo di corrente alla base e un massimo di tensione all'estremità* »; questi punti si chiamano *ventri* di intensità e di tensione rispettivamente.

Distribuzione della corrente e della tensione in un'antenna. — *La capacità e l'induttanza di un'antenna variano col variare della*

frequenza della corrente immessa. Contemporaneamente quindi varieranno i valori dell' intensità e del potenziale nei vari punti dell' antenna, essendone variata la *resistenza effettiva* (reattanza). Analizzando matematicamente il fenomeno si trova che col variare della frequenza la reattanza

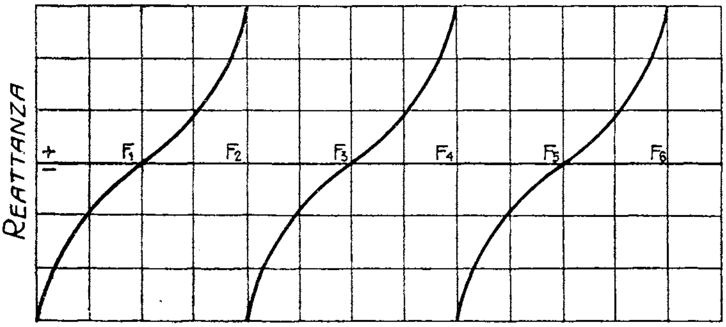


Fig. 240.

passa periodicamente fra vari valori compresi fra un massimo e lo zero, con l' andamento della fig. 240, detto iperbolico.

La stessa cosa verrebbe notata variando la lunghezza dell' antenna e mantenendo invariata la frequenza.

Dalla curva ci si accorge come trovata la prima frequenza per la quale la reattanza è nulla (che chiameremo f_1) alle frequenze f_3, f_5, f_7 ecc., la reattanza è pure nulla, mentre è massima alle frequenze f_2 f_4 f_6 ecc.

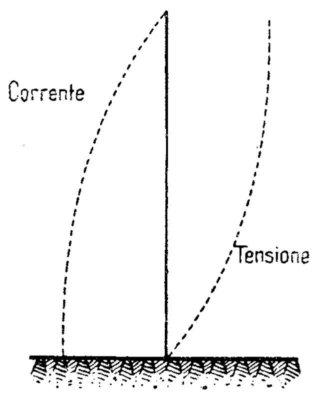


Fig. 241.

La più bassa frequenza per la quale la reattanza dell' antenna è nulla dicesi *frequenza fondamentale.*

Più comunemente si considera la lunghezza d' onda corrispondente alla frequenza fondamentale che viene detta *onda fondamentale* (λ_0) dell' antenna.

Armoniche. — Usando un conduttore verticale sottratto ad ogni influenza esteriore si trova che la *fondamentale* è esattamente uguale a quattro volte la sua lunghezza.

In questo caso la distribuzione della corrente e della tensione è chiaramente visibile nella fig. 241, dalla quale si nota pure che la parte superiore d' aereo per la ridotta corrente che permette irradiare, risulta poco efficace.

Se noi eccitiamo l' antenna su una frequenza multipla della fonda-

mentale, differente è la distribuzione della corrente e della tensione in essa (fig. 242).

Si dice in questo caso che l'antenna è operata su un' *armonica*.

Evidentemente non si potranno adottare con buon esito che le armoniche *dispari*, tenendo presente che si è generalizzato l'uso di chiamare la fondamentale come armonica 1_a e quindi 2_a, 3_a, 4_a, 5_a armonica le rispettive frequenze multiple.

Lo studio dell'operazione su armonica dello aereo è molto importante nei riguardi della propagazione delle onde corte (v. parte 4ª e 5ª).

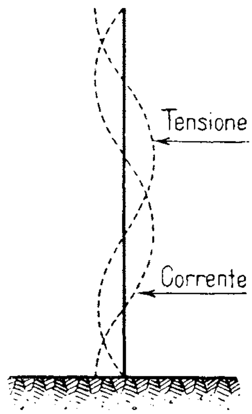


Fig. 242.

Antenna pratica. — Finora abbiamo soltanto considerato il caso teorico di un'antenna verticale sottratta a qualsiasi influenza esteriore. Praticamente è però molto difficile raggiungere questo limite, sia per gli effetti dei corpi circostanti all'antenna, sia anche per l'induttanza e per le eventuali capacità che occorre inserire fra aereo e terra.

Prescindendo per ora anche da questo, ben poche antenne possono essere esclusivamente verticali, e anzi le varie forme ideate cercano far sì che la capacità del sistema, non vada rapidamente diminuendo con l'altezza, ma bensì il più lentamente possibile, in modo che l'intensità possa essere notevole anche nelle parti più elevate. La distribuzione della corrente e del potenziale nei vari tipi della pratica è variabile, come può notarsi dall'esempio grafico della fig. 243; inoltre l'aumentata capacità fa sì che la fondamentale del sistema non sia uguale semplicemente a quattro volte la lunghezza del filo. Ritorniamo per un istante alla nostra antenna ideale e supponiamo di mettere, invece di un solo, due fili verticali comunicanti fra loro. La capacità rispetto al suolo del sistema così realizzato, è alquanto maggiore, ma in compenso l'inserzione in parallelo dei due fili, riduce l'induttanza, in modo che la fondamentale rimane invariata.

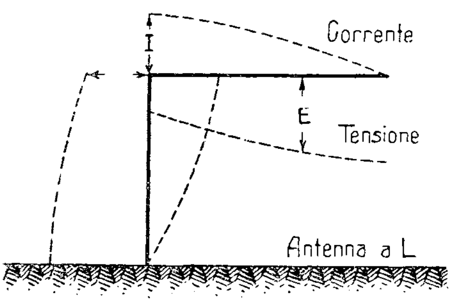


Fig. 243.

Praticamente invece, la forma non verticale e le influenze esteriori, fanno sì che l'aumento di capacità non possa più essere controbilanciato dalla diminuzione di induttanza e quindi la fondamentale risulta maggiore.

Riporto qui le fondamentali approssimate dei sistemi più usati facendo notare come per lunghezza *l* si intenda la distanza fra l'isolatore estremo d'aereo e la terra.

Aereo verticale	poco più di	4 *l*
Aereo verticale a cono inverso . .	»	4-5 *l*
Aereo orizzontale vicino a terra . .	»	5 *l*
Aereo a *T*.	»	4-5-6 *l*
Aereo ad ombrello	»	6-10 *l*.

Induttanza in serie. — Inserendo fra antenna e terra un'induttanza, la reattanza totale è uguale alla somma (algebrica) delle due reattanze (antenna e induttanza), quindi la frequenza fondamentale viene diminuita (aumento di lunghezza d'onda).

È quindi evidente come sia in nostro potere, aumentando l'induttanza aggiunta, di rendere la frequenza sempre minore (lunghezza d'onda sempre maggiore) fino al limite zero.

D'altra parte, i valori della reattanza del sistema di aereo così costituito non variano più col regolare andamento della curva della fig. 240, per le successive frequenze.

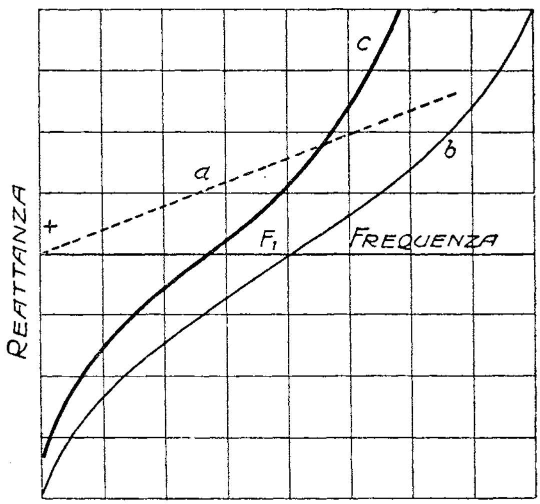


Fig. 244.

Infatti la reattanza della bobina aggiunta non varia come quella d'aereo, ma con un andamento più regolare (curva *a* della fig. 244), e poichè l'andamento della reattanza d'aereo ci è noto (curva *b*) la variazione risultante è rappresentata dalla composizione delle due curve (curva *c*).

Condensatore in serie. — Anche in questo caso la reattanza totale è la somma di quella del condensatore, più quella d'aereo, ma

per quanto essa sia aumentata, (per quanto piccola sia ridotta la capacità in serie) la lunghezza di onda non può mai essere ridotta a meno della metà della fondamentale, caso limite, verificabile soltanto quando l'antenna è isolata nello spazio.

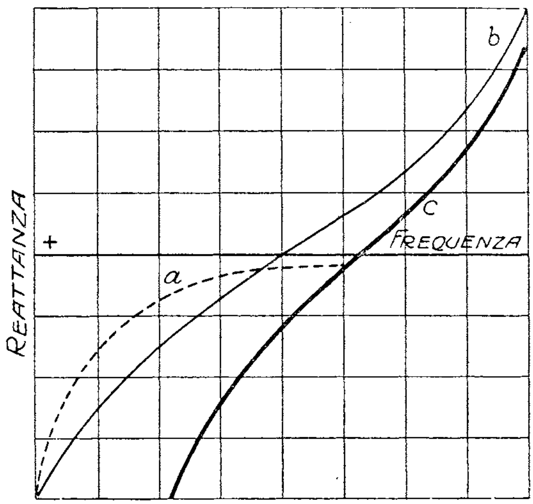


Fig. 245.

L' andamento della variazione è rappresentato dalla curva C (fig. 245) mentre le curve *a* e *b* rappresentano la variazione della reattanza della antenna e del condensatore (negativa).

Praticamente l'inserzione di un condensatore permette una riduzione fino a $^3/_5$ della fondamentale (fig. 246) e sebbene questo metodo sia raramente usato nel caso di trasmissione a onde lunghe lo è spesso e con buoni risultati quando la frequenza è molto elevata.

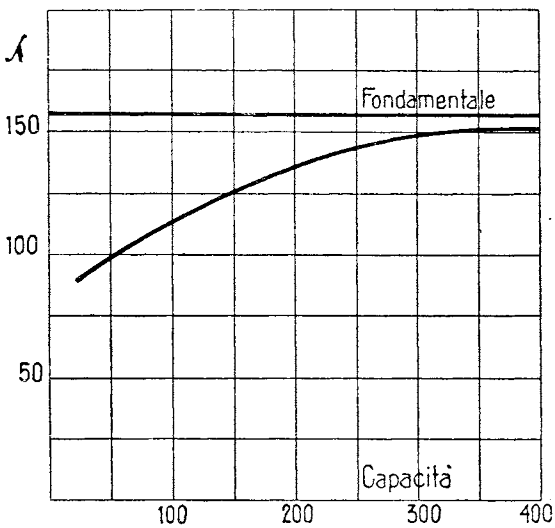


Fig. 246.

Altezza d'aereo. Nel caso di onde lunghe l'altezza dell'antenna deve essere la massima possibile, mentre deve essere giudiziosamente scelta nel caso di onde corte. *L' altezza efficace* o effettiva d'una antenna è sempre minore della sua altezza reale, a cagione della sua sistemazione e di ciò che la circonda.

Così può darsi il caso, che un'antenna situata su una torre abbia un'altezza effettiva inferiore ad un'altra situata a dieci metri dal suolo,

poichè operando antenna e terra come le due armature di un condensatore, ogni cosa fra loro interposta può essere nociva.

Così fili elettrici, fabbricati, costruzioni metalliche, boschi, monti, contribuiscono a diminuire l'altezza effettiva di un'antenna. Nel caso di onde corte non è necessario che l'altezza effettiva sia grande ma è molto più importante regolare nel miglior modo il « fluire » della corrente *AF* al suolo.

Consideriamo il caso di un'antenna verticale operata su fondamentale. La distribuzione della corrente lungo la sua lunghezza dovrebbe essere quella della figura 247 (curva *A*).

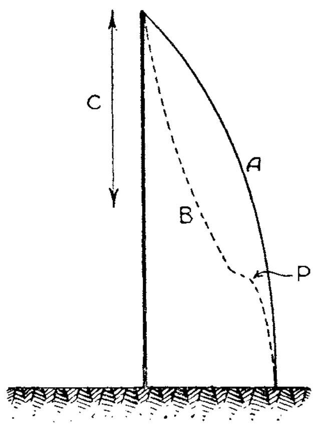


Fig. 247.

Praticamente invece, quando la frequenza è alta, anche le più piccole capacità verso i corpi vicini influiscono grandemente in modo che la rapidità con la quale la corrente *AF* diminuisce lungo il filo, è molto maggiore.

La curva *B* mostra la distribuzione della corrente in un'antenna, trovata sperimentalmente; si nota una brusca diminuzione in *P* (passaggio attraverso il muro) e la riduzione nell'ultimo tratto ad un valore così piccolo che il tratto *C* può considerarsi inefficace e quindi l'altezza effettiva molto diminuita.

Questo inconveniente non si può ovviare che riducendo al minimo possibile la capacità verso il suolo della porzione inferiore d'aereo ed aumentando al massimo quella della parte superiore.

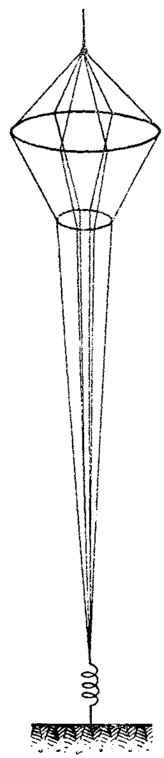


Fig. 248.

Volendo mantenere l'aereo verticale l'unica soluzione è la forma della fig. 248, che è infatti la realizzazione pratica di uno dei più efficienti sistemi d'aereo per onde corte operato sulla fondamentale. Altrimenti si può ricorrere all'antenna a *T* o a *L* facendo sì che la « *discesa* » sia sempre conica, sottile e *distante* da qualsiasi corpo estraneo.

Usando il tipo ad *L* rovesciato occorre far sì che l'angolo fra i due rami sia molto ampio, altrimenti si avrebbe a notare una nociva influenza fra questi.

Convenienza della fondamentale. — L'operazione dell'aereo sulla fondamentale assoluta (è evidente che si intende ora per fondamentale quella del sistema aereo-induttanza-terra) non è conveniente, poichè quasi sempre accade che qualche armonica dell'oscillatore venga contemporaneamente irradiata. Infatti ogni generatore di oscillazioni e in particolare l'audion, emette assieme alla frequenza fondamentale, tutte le frequenze multiple e sottomultiple (armoniche dell'oscillatore).

Ora, se una di queste coincide con un'armonica dell'aereo, viene notevolmente « rinforzata » assorbendo energia in quantità tanto apprezzabile da raggiungere alle volte e anche da superare, quella dell'oscillazione principale.

Ciò è noto in pratica, poichè è spesso possibile ricevere emissioni lontane, su due e anche su tre armoniche. Alcuni sostengono che il migliore valore di λ sarebbe 90/100 di λ_0 mentre altri parteggiano per 110/100, ma i risultati sono pressochè identici. Essendo su λ_0 la reattanza nulla, la corrente d'aereo è massima quindi diminuisce fortemente appena ci si sposta dalla fondamentale: bisogna tuttavia ricordare che essendo la reattanza e quindi la resistenza effettiva aumentata, la corrente *deve* necessariamente diminuire per lasciare invariata l'espressione

$$\text{potenza } W = \text{resistenza} \times \text{corrente}^2 = RI^2.$$

Presa di terra e contrapeso. — Abbiamo finora considerato un contatto assolutamente perfetto col suolo; occorre avvicinarsi quindi a questa condizione nel miglior modo.

Una buona presa di terra deve essere ampia e possibilmente non più lontana di *qualche metro* dal serrafilo corrispondente. Infatti se si persiste nell'operazione su fondamentale quando la « terra » è lontana si ha una utilizzazione ancor minore dell'altezza d'aereo poichè non è più alla base di essa che si trova il massimo di intensità.

La presa di terra se efficiente ed immediatamente vicina è senz'altro da preferire, ma quando il suolo è relativamente lontano o difficilmente sfruttabile, si ricorre ad un contatto capacitativo con esso.

Si collega cioè l'oscillatore all'armatura di un grande condensatore che ha per altra armatura il suolo stesso. Questa armatura, praticamente realizzata con una rete o una raggiera di fili ben isolati e sospesi ad una certa altezza, viene chiamata *contrapeso* (v. pag. 51). Le sue caratteristiche dipendono dalle dimensioni e dalla distanza dal suolo. Esso agisce infatti come un condensatore in serie all'antenna e come tale deve rispondere a due qualità: *a*) essere il più possibile perfetto; *b*) essere di sufficiente capacità. Se il terreno è buono, non contiene

eventuali masse metalliche o dielettriche nocive e l'insieme dei fili è ben disposto e isolato, il primo requisito è già risolto.

Il secondo è facilmente raggiungibile riferendosi al paragrafo riguardante l'effetto di un condensatore in serie sull'antenna.

Dal variare delle sue dimensioni dipende la variazione di λ_0 entro i noti limiti e nell'altro.

Non è a credersi che aumentandolo sempre più si possa aumentare il rendimento (naturalmente nel caso di onde corte). Praticamente è inutile aumentarlo quando esso lascia pressochè invariata λ_0 ed anzi se si potesse far sì che per la bontà del suolo e del dielettrico interposto, il condensatore riuscisse perfetto, non ci sarebbe nessun ostacolo a che le sue dimensioni fossero ridotte anche minime, poichè soltanto una diminuzione di λ_0 ne risulterebbe.

Alcune stazioni infatti, operanti ad altissima frequenza, non riscontrano differenza inserendo o disinserendo il contrapeso, poichè la capacità dei soli istrumenti è sufficiente ad assicurare il contatto capacitativo. In questo caso però il dielettrico interposto è dei peggiori e così pure il rendimento.

Da quanto precede, si capisce come variando la distanza dal suolo o la lunghezza d'onda occorra variare anche l'area del contrapeso. Generalmente però quando la frequenza è elevata, dimensioni di questo anche ridotte sono sufficienti ad assicurare un ottimo funzionamento in una gamma anche vasta.

Operazione su λ_0 lontano dal suolo. — La vicinanza della terra e degli oggetti in contatto con essa, riesce spesso dannosa alla trasmissione con onde corte. Inoltre diminuendo sempre più la lunghezza d'onda l'altezza efficace di un aereo, operante su λ_0 verrebbe ridotta a qualche metro soltanto. Un metodo semplice e molto efficace è di portare il complesso trasmettente in alto ed usare un adatto contrapeso. Si realizza in questo modo il primitivo oscillatore hertziano. Quando l'altezza è molto grande tanto l'aereo che il contrapeso, possono avere la medesima lunghezza ed essere tesi orizzontalmente, accoppiando poi il punto centrale all'oscillatore. Se l'altezza è ridotta (8-15 metri) è più conveniente un sistema verticale (fig. 249) di adatte dimensioni [1].

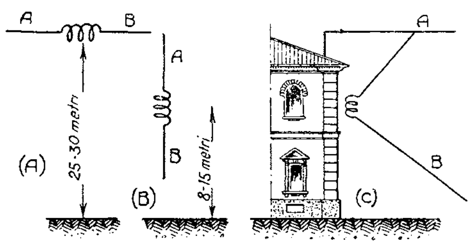


Fig. 249.

[1] L'uso di un'antenna perfettamente orizzontale è oggetto modernamente di studi e ricerche in relazione alla *polarizzazione* delle onde e. m. (v. parte 5ª).

È bene che la capacità verso il suolo dei due sistemi antenna e contrapeso sia la stessa, cioè l'insieme sia come suol dirsi « simmetrico ». All'uopo occorre generalmente un contrapeso più ridotto dell'antenna, essendo esso più prossimo al suolo o una capacità in serie. Nel caso (*A*) invece, i tratti *A* e *B* sono esattamente uguali se sottratti ad eventuali influenze esteriori.

Trasmissione con aereo a quadro. — La trasmissione con quadro o telaio è poco consigliabile nel caso di onde relativamente lunghe (maggiori di 100 metri).

Nella gamma inferiore e specialmente al di sotto dei 50 metri, l'utilità di questo sistema è molto pronunciata.

Il rendimento di radiazione di un buon quadro ben situato e ben dimensionato, è quasi sempre migliore di quello di una comune antenna (ammesso sempre $\lambda > 100$ metri), l'insieme si semplifica, le sue caratteristiche possono essere rese stabilissime e pochissimo dipendenti dalle condizioni atmosferiche, vento, ecc. con vantaggi innegabili (¹).

La poca resistenza effettiva che esso presenta, può alle volte riuscire utile, specialmente quando è in giuoco una notevole potenza.

L'effetto direttivo non è molto pronunciato ed è difficilmente rilevabile a distanza. Usando ricevitori pochissimo sensibili e capaci di dare un'indicazione quantitativa della intensità del campo e. m. si può trovare, sperimantando in un raggio di qualche chilometro intorno al trasmettitore, la curva della fig. 250, che indica le posizioni dove la intensità del campo è costante. Però coll'aumento della distanza la curva va avvicinandosi alla forma circolare. Il quadro può riuscire molto utile negli impianti portatili, su veicoli, aerei o piccole navi e generalmente dovunque è impossibile sistemare un'antenna conveniente.

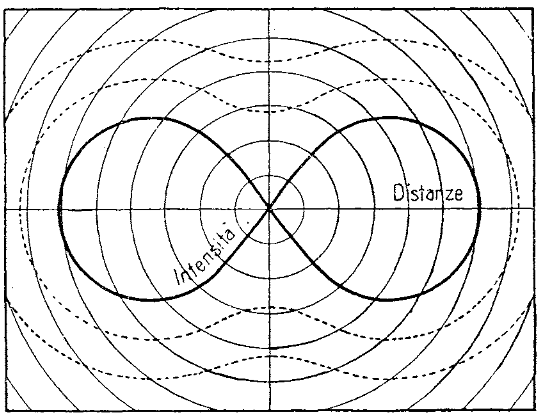


Fig. 250.

(¹) Analogamente che nel caso dell'antenna, l'uso di un *quadro* orizzontale è oggi allo studio nei riguardi della produzione di onde polarizzate (v. parte 5ª).

Durante le prime prove transatlantiche con piccola potenza del 1923-1924 riuscii ad ottenere ottimi risultati appunto con aerei a telaio più o meno modificati rispetto alla forma usuale. Uno dei primi fu quello illustrato nella fig. 251, che necessitava però una notevole altezza dal suolo ([1]).

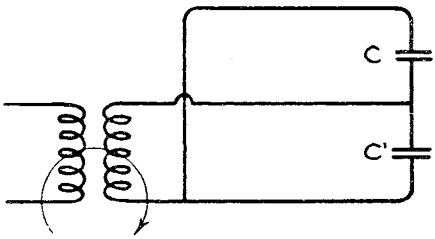


Fig. 251.

Il sistema si realizzava praticamente con tre lunghi aerei paralleli e le capacità fra C e C' erano rappresentate dalle capacità mutue fra questi. Con un aereo di questo genere e una potenza di 50 watts si poterono stabilire comunicazioni a 8000 chilometri, sebbene in quell'epoca la pratica delle onde corte non fosse ancora formata e la sensibilità dei ricevitori fosse minima.

È possibile migliorare ancora il sistema utilizzando due soli aerei verticali (distanti un quarto d'onda possibilmente) e congiunti con una capacità all'estremità superiore (fig. 252). Per semplicità si può dare una forma triangolare all'insieme assicurando il vertice in alto. La capacità necessaria è quella piccolissima attraverso un isolatore o ottenuta tenendo paralleli i fili nel tratto estremo (v. fig. 253).

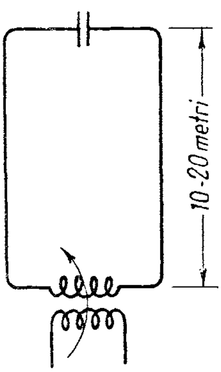


Fig. 252.

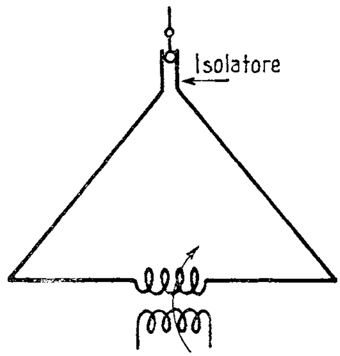


Fig. 253.

I risultati ottenuti sono molto buoni tanto su fondamentale che su armonica.

Operazione dell'aereo su armonica. — Tedeschi ed americani indagarono sul comportamento di un aereo eccitato non più sulla fondamentale ma bensì su un'armonica e trovarono come con questo artificio una gran parte di energia prendesse una via esclusivamente spaziale e che l'angolo secondo il quale la vibrazione abbandonava l'aereo, dipendeva dal modo col quale questo aereo era eccitato a vibrare (1ª, 2ª, 3ª, 4ª... armonica).

([1]) Il sistema si presta molto bene a fornire onde polarizzate orizzontalmente.

Nel caso di un aereo verticale in contatto con suolo perfettamente conduttore furono trovati gli angoli della fig. 254.

Le moderne teorie escogitate allo scopo di spiegare la particolarità della propagazione hertziana all' intorno della nostra terra, e specialmente riferite all' applicazione delle *onde corte*, ammettono concordi l' importanza che nelle comunicazioni a distanza deve attribuirsi alla trasmissione esclusivamente *spaziale* (v. 1° cap. della parte 4ª).

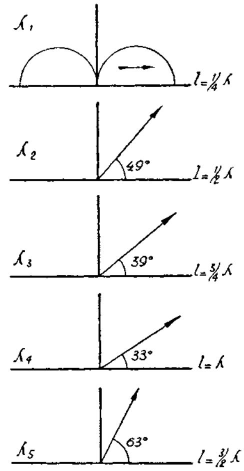


Fig. 254.

Per questa ragione lo studio del comportamento e delle particolarità della trasmissione coll' uso di armoniche di ordine variato, si presenta molto importante.

Dai pochi dati che oggi si possiedono, sembra che in molti casi l' uso di un' armonica di ordine adatto possa riuscire di giovamento nella trasmissione a distanza; e sebbene si sia esperimentato anche oltre la centesima armonica con potenze spesso notevoli, sembra generalmente miglior cosa adottarne una delle prime (terza, quinta, settima).

Soltanto però una seria, paziente e metodica indagine riuscirà in breve tempo a rendere più positiva e meno dubbia la conoscenza, purtroppo incerta, che oggi abbiamo sull' argomento.

Qualunque aereo può essere operato su armonica, e generalmente è inutile ricorrere a forme particolari, poichè le parti più alte funzionano più o meno identicamente a quelle più basse tanto più quanto più grande è l' ordine dell' armonica adottata.

Un filo verticale è da preferirsi nel maggior numero dei casi; sembra anche da preferirsi un' ottima « terra » al contrapeso purchè l' oscillatore le sia vicinissimo.

Si è anche esperimentato con buoni risultati un lungo filo non molto alto dal suolo e teso nella direzione verso la quale la comunicazione è desiderata. Questa soluzione però, oltre a non essere alla portata di tutti per lo spazio richiesto, non è consigliabile per onde *molto* corte.

L' accoppiamento deve essere molto lasco ed è bene non restare sul perfetto accordo fra aereo (armonica d' aereo) e oscillatore per evitare emissioni parassite sulla fondamentale e su altre armoniche.

L' accoppiamento con capacità, anzichè induttivo, può essere usato, ma non è preferibile *a meno di non usare capacità molto piccole*.

L' uso delle armoniche può essere molto utile a chi non dispone

che di un grande aereo (usato per esempio per ricezione) sia pur mal sistemato, basso, ecc.; permettendogli di utilizzarlo nel miglior modo e di ottenere ottimi risultati.

La corrente oscillante d'aereo va diminuendo col crescere dell'ordine dell'armonica, *e in ogni caso è una minima parte di quella ottenuta con aereo su fondamentale,* a parità di potenza irradiata.

Riflessione. — Il quadro è uno dei primi artifici per ottenere un aumento di intensità del campo in una data direzione; però quando la frequenza è molto elevata questo aumento non è notevole (v. pag. 219).

Appare allora la possibilità di utilizzare una vera e propria riflessione delle onde stesse come nel caso delle onde luminose. Il più semplice riflettore è un aereo analogo a quello radiante e posto ad adatta distanza da questo. Il funzionamento è basato sull'annullamento delle oscillazioni dirette nel verso antenna-riflettore e sul rinforzo di quelle dirette nel verso opposto. Questo fenomeno è noto in acustica ed in ottica. Infatti quando si producono due suoni esattamente uguali (altezza, ampiezza, ecc.) finchè le due vibrazioni sono *in fase,* si ottiene un suono di ampiezza uguale alla somma delle due ampiezze, mentre quando le due vibrazioni sono in *opposizione di fase,* i due suoni si elidono e si ha il silenzio. Questo fenomeno viene chiamato interferenza (v. pag. 41).

Così due vibrazioni luminose identiche ma in opposizione di fase producono l'oscurità.

Riflettere quindi onde hertziane, significa realizzare due o più sorgenti di vibrazioni assolutamente identiche disposte e costruite in modo che le loro vibrazioni *interferiscano,* risultando in concordanza di fase nel senso della riflessione (aumento di ampiezza) e in opposizione il più possibile perfetta nelle altre direzioni (annullamento).

Ora in acustica, ottica ed elettricità non si son ancora potute realizzare due o più sorgenti di vibrazioni talmente costanti da rimanere assolutamente *sincrone* per molto tempo. Si è quindi fatto in modo che le varie sorgenti siano alimentate da un unico oscillatore, e quindi, più propriamente parlando, siano *sorgenti ideali.* In ottica, ricorrendo alla riflessione si sono ottenute due sorgenti ideali identiche (Fresnell) che hanno permesso la realizzazione di brillanti esperienze e studi.

Nel nostro campo, molto più semplicemente, un conduttore accordato qualsiasi, posto vicino all'oscillatore, divenendo a sua volta sede di oscillazioni identiche, rappresenta la sorgente ideale richiesta ([1]).

([1]) In questi ultimi tempi usando un unico eccitatore si sono potuti fare funzionare sincronicamente vari oscillatori.

Praticamente si ricorre ad aerei verticali, quindi è comprensibile come la riflessione di onde lunghe sarebbe laboriosa per le dimensioni del sistema; essa diventa pratica soltanto per onde corte e cortissime.

Supponiamo due aerei *A* e *B* verticali e posti a una certa distanza fra loro. Quando *A* oscilla *B* pure oscilla in risonanza, ma la vibrazione di *B* essendo indotta è sfasata di 180° rispetto a quella di *A* (v. pag. 137).

Siano *A* e *B* distanti di un quarto di lunghezze d'onda (fig. 255).

Una oscillazione partente da *A* raggiunge *B* dopo un quarto di periodo (90°) e induce in *B* una seconda oscillazione sfasata di 180°. Alla sua volta *B* irradia. Ma la vibrazione che va da *A* verso *B* essendo in opposizione di fase con quella irradiata da *B*, si annulla assieme a questa.

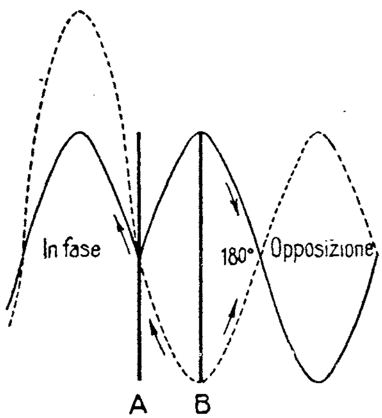


Fig. 255.

Quella invece che va da *B* verso *A* già sfasata di 270° (90° + 180°) percorrendo la distanza *BA*, si sfasa ancora di 90° e giunge in *A* sfasata di 360° (cioè in fase perfetta).

Quindi l'oscillazione nel senso *AB* viene rinforzata.

Questo stesso sistema è usato senza alcuna modifica in pratica. Per aumentare l'effetto direttivo si ricorre ad un vero e proprio riflettore, collocando un numero multiplo di antenne *B* disposte attorno ad *A* secondo una parabola, di cui *A* sia il fuoco (v. parte 5ª). In questo modo l'effetto direttivo è molto marcato e dipende principalmente dall'« *apertura* » del riflettore e dal numero di fili usati.

Praticamente, quando l'onda è molto corta, la costruzione di un simile riflettore è alla portata di tutti.

Un altro sistema molto semplice consiste nell'alimentare con uno stesso oscillatore varie antenne verticali (disposte alla distanza di mezza lunghezza d'onda) in modo che oscillino tutte in fase. Si ha allora l'annullamento completo delle oscillazioni nel piano delle antenne dovuto all'interferenza, mentre si ottiene un notevole rinforzo nella direzione perpendicolare a questo piano.

Antenne sotterranee e sottomarine. — Le antenne sotterranee e sottomarine sono specialmente utili per scopi militari e di difesa,

sebbene recenti studi tendano a provare un loro migliore comportamento rispetto agli altri sistemi, nella ricezione.

L' antenna sotterranea è costituita da uno o vari fili ben isolati e posti ad una certa profondità sotto il suolo. Qualunque tipo di antenna può essere così realizzato.

Poichè l' esperienza attuale si è limitata ad onde lunghe e lunghissime, sarebbe interessante lo studio di questi sistemi con onde inferiori a 100 metri.

L' antenna sottomarina è generalmente utile alle navi sommergibili. Per permettere un relativo buon rendimento si sono escogitati due sistemi: il primo è rappresentato schematicamente nella fig. 256, e serve ad evitare l' assorbimento da parte della massa metallica dello scafo all' uscita della corrente AF (tratto verticale) e per permettere una buona irradiazione negli altri tratti. Ciò si ottiene tenendo molto vicini nel tratto verticale i due conduttori, in modo che i campi creati da questi si neutralizzino a vicenda, rendendo minima la irradiazione, che diventa poi massima negli altri tratti. L' altro sistema usa un aereo a telaio collocato all' esterno e protetto da un involucro isolante e impermeabile. Disponendo di questi mezzi, si sono eseguite esperienze che provano come soltanto con onde lunghe una notevole penetrazione potrebbe essere ottenuta. Più particolarmente, usando le onde più lunghe oggi in uso, la *ricezione* potrebbe essere eseguita fino a 7-8 metri sotto il livello delle acque anche da grandi distanze. La trasmissione invece è molto meno efficace. Infatti usando onde dell' ordine di 1000 metri di lunghezza la portata si riduce a un quinto e più con un' immersione di pochi centimetri.

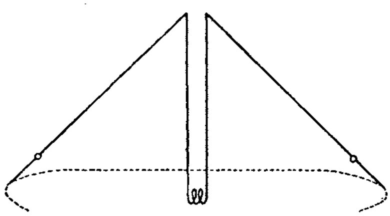


Fig. 256.

Con ogni probabilità le onde corte non potrebbero essere usate in questi casi. Tuttavia manca ancora una sufficiente pratica esperimentale.

Radiogoniometria e onde corte. — Appartengono alla radiogoniometria tutti quei sistemi che permettono di stabilire da dove proviene l' emissione ricevuta.

Il metodo più semplice è quello di usare un aereo a telaio che possa essere orientato a piacere. Si ha allora una ricezione massima quando il piano del telaio è nella direzione della propagazione e nulla quando ne è perpendicolare. Questo sistema molto usato in pratica ha il diffetto di richiedere il movimento del telaio, spesso difficilmente realizzabile. Il radiogonio-

metro vero e proprio è costituito invece da un sistema di due antenne esterne a telaio ortogonali fra loro e collegate a due induttanze (LL_1) disposte pure ortogonalmente (fig. 257). In termini molto elementari si può allora dire che il campo generato nell' interno di queste induttanze ha caratteristiche simili a quello che influenza gli aerei esterni. Quindi aggiungendo una terza bobina mobile L_2 collegata al ricevitore e ruotante fra le due fisse, essa si comporta esattamente come un aereo a telaio, e quindi permette di trovare la direzione necessaria.

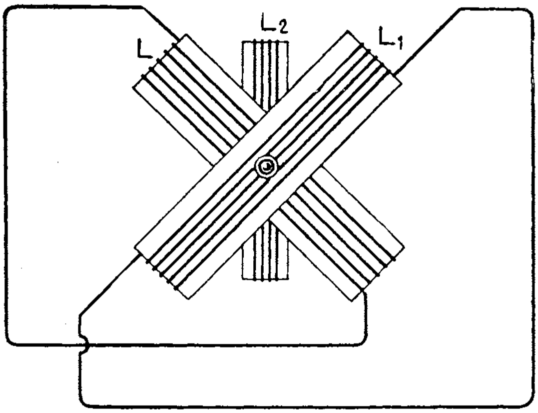


Fig. 257.

Col diminuire della lunghezza d'onda la precisione della misura diventa sempre più piccola a cagione dell' apprezzabile effetto d' antenna, che sostengono i telai. Per questa ragione il doppio telaio fisso all'esterno è meno adatto del semplice quadro di piccolissime dimensioni.

I conduttori e le masse vicine influenzano grandemente la misurazione che risulta incerta e poco efficace. Essa quindi si esegue finora su onde relativamente lunghe. Una pratica applicazione delle onde corte in questo campo potrebbe riuscire molto utile e meriterebbe la pena di essere più studiata di quanto non lo sia stato finora, specialmente nei riguardi puramente scientifici per lo studio sulla propagazione e sul « fading ». Infatti esperimentando con onde lunghe, si sono notati dei notevolissimi cambiamenti di direzione (fino a 90°) nella propagazione, che attualmente non si spiegano molto bene. Sarebbe importante conoscere, se ciò si verifica in grado maggiore o minore anche usando onde corte, in differenti località, condizioni, stagioni ecc., il suo comportamento usando diverse frequenze, e molte altre caratteristiche che non ci sono ancora note.

Così nella ricezione dagli antipodi, così facile oggi, si potrebbe determinare la via o le vie preferite dalle oscillazioni che ci pervengono (1).

(1) Per altre notizie sull'argomento v. parte 5a.

CAPITOLO II.

COSTRUZIONE DEL SISTEMA RADIANTE

Numero dei fili e loro lunghezza. — Alla ricezione ben poco si guadagna aumentando il numero dei fili che compongono un' antenna.

Infatti in questo caso è la differenza di potenziale portata al ricevitore che determina l' intensità del segnale quindi con l' inserzione di un qualsiasi numero di fili rimanendo la d. d. p. pressocchè costante, anche l' intensità del segnale non cambia.

Sempre riferendoci alla ricezione, e in particolar modo a quella con onde corte, è raccomandabile un aereo *corto e poco elevato dal suolo*, per chi desidera ricevere segnali molto deboli da grande distanza. Infatti sebbene l' energia captata sia in questo caso minore, in ragione ancor minore lo sono i disturbi e le interferenze e la udibilità relativa aumenta.

Anche per le ricezioni radio-telefoniche dove occorre far agire alto parlanti, la tendenza moderna è di usare antenne basse e ridotte o addirittura quadri, accontentandosi di un' udibilità minore ma alquanto più pura.

Nei riguardi della trasmissione, la cosa è differente. Relativamente alla lunghezza d'aereo, il primo capitolo può suggerire la più adatta caso per caso.

Per il numero dei fili è mio parere che un unico conduttore ben teso, di sezione sufficiente e di materiale adatto, possa nel maggior numero dei casi, quando la potenza non è molto considerevole rappresentare l' aereo migliore. Infatti abbiamo visto come la prima porzione d' aereo nei pressi della terra dovrebbe essere la più esile possibile per rendere minima la capacità e quindi permettere alla corrente AF di fluire meno rapidamente e più in alto. Quindi di un voluminoso aereo la parte vicina al suolo non può che essere dannosa impedendo anche che la maggiore sua capacità in alto possa efficacemente sfruttarsi. La forma a cono (v. fig. 248) rimedia a questi inconvenienti ma non a un altro pure importante e da tenere in considerazione: l' azione del vento. Il più piccolo movimento dell' aereo quando la frequenza è molto alta è causa di una impercettibile variazione, sufficiente spesso a rendere illegibile il più forte segnale. Ora è molto più difficile rendere insensibile all' azione del vento un aereo a molti fili che uno unifilare. Per queste

ragioni e per altre ancora che potranno essere dedotte in seguito, l'antenna a un filo solo può essere felicemente e universalmente adottata sia per ricevere che per trasmettere, mentre gli altri tipi porteranno un *leggero* miglioramento dove sia possibile tenderli ed assicurarli nel modo migliore (ciò naturalmente per onde $<$ di 100 metri).

Filo di rame. — *Corda.* La corda metallica di rame, bronzo o alluminio non è consigliabile perchè essa ha maggiore resistenza *AF* di un filo solido di uguale sezione, perchè col tempo per ossidazione ed altro si corrode maggiormente, è di costo maggiore, è meno facile da saldare, collegare ecc.

Essa è utile e magari indispensabile soltanto nel caso di impianti portatili o smontabili. Un diametro di circa due millimetri è conveniente e così una buona stagnatura o zincatura galvanica.

Cavo a più fili isolati. È composto di un grande numero di fili di rame isolati uno dall'altro ed attorcigliati insieme. La superficie totale essendo la somma di tutte le superfici è quindi molto maggiore di quella di un filo dello stesso diametro. Tuttavia sebbene questo conduttore venga spesso raccomandato, *non è per nulla da preferire.* Infatti dovendo i fili essere molto sottili è facile nella costruzione che se ne rompa qualcuno; le porzioni spezzate esercitano allora una azione molto nociva, determinando riscaldamenti e perdite. Esso potrà essere usato per prove e per impianti interni avendo cura di assicurarsi che *tutti* i fili siano intatti e continui.

Alluminio. L'alluminio molto più leggero del rame ha però una resistenza elettrica alquanto maggiore. La sua sezione deve essere quindi una volta e mezza quella del rame e il suo peso sarà tuttavia la metà. Il vantaggio più notevole è di rendere metà la pressione esercitata sui sostegni: d'altra parte però la resistenza al vento è maggiore per la maggiore sezione e la impossibilità di saldarlo si presenta come inconveniente abbastanza grave.

Rame. Il filo di rame di due millimetri è generalmente il migliore. Esso deve essere *semicrudo,* quindi risulta sufficientemente pieghevole e nello stesso tempo rimane ben teso. Tuttavia non è molto forte. Il rame crudo sebbene più tenace e resistente, diventa fragile col tempo essendo sottoposto a continuo sforzo. Ambedue si saldano con estrema facilità.

Bronzo. Il bronzo come resistenza e manutenzione è superiore a tutti ma la sua resistività è molto maggiore di quella del rame e si presta male ad essere saldato. L'aereo di bronzo è soltanto consigliabile quando, o per il vento o per altre condizioni meccaniche, i conduttori siano sottoposti a considerevole e continuo sforzo.

Acciaio ramato. Questo conduttore costituito con un filo di acciaio ricoperto da uno spesso strato di rame puro, aggiunge alla minima resistività del rame la robustezza dello acciaio. Occorre però sia ramato con forte spessore e non sia quindi il solito filo di ferro ramato del commercio.

Questo filo di ferro se di buona qualità è senz'altro da preferire.

Ferro e acciaio. Un filo di ferro o acciaio di sufficiente sezione affinchè la sua resistenza sia molto ridotta, può essere usato con ottimi risultati sia in ricezione che in trasmissione. In quest' ultimo caso e specialmente con onde corte, si è ricorso spesso al *tubo* di ferro, realizzando così antenne unifilari di estrema rigidità. E spesso possibile fare sì, che l'antenna si sorregga da sè, avvicinandosi così praticamente al caso teorico dell'antenna verticale (fig. 258).

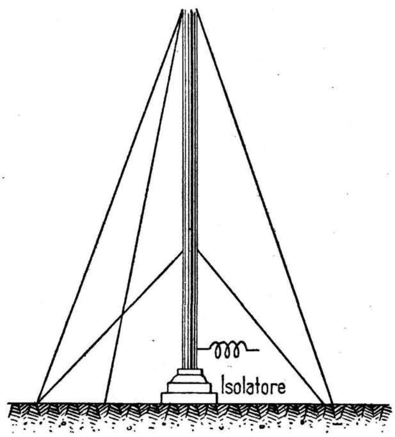
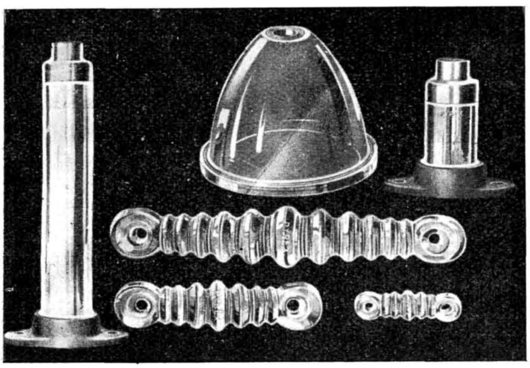


Fig. 258.

Isolamento delle antenne. — Il primo capitolo ci ha dimostrato gli svantaggi di un isolamento insufficiente quanto quelli di uno eccessivo.

Gli isolatori debbono essere *pochi, lunghi e sottili.*

Il materiale che li compone deve essere il migliore possibile: buona ebanite, vetro e porcellana sono i più raccomandabili (fig. 259).



Fg. 259.

Il migliore isolatore si riserva sempre per la estremità superiore dell'antenna (ventre di tensione).

Particolare cura va posta all'entrata d'aereo (ventre di corrente) affinchè possegga la minore capacità possibile rispetto al suolo.

Molto spesso grande parte dell'energia se ne va al suolo attraverso la capacità dell'isolatore d'entrata. Un foro al centro di una lastra di

vetro è una buona soluzione ma non perfetta; essa si migliora facendo passare il filo in una boccola di ebanite incastrata nel foro. La fig. 260 mostra alcuni dei più noti artifici per sistemare l' entrata di aereo, rendendo minima la capacità verso il suolo.

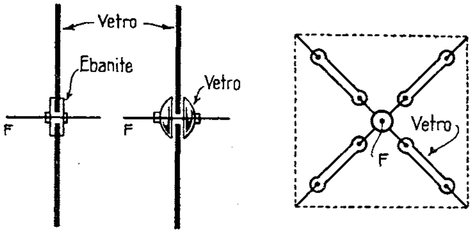


Fig. 260.

Nel caso di ricezione la cura posta in questa parte dell' impianto può essere minore.

Sostegno dell' antenna. — Esaminiamo per ora i casi generali di sistemazione di un' antenna, che utilizzano cioè sostegni già esistenti o leggermente modificati. Questo succede specialmente a coloro che si trovano nel centro dell' abitato e possono difficilmente sistemare un impianto ideale sia pur cercando la migliore realizzazione possibile. Se questi si trovano alti dal suolo, la trasmissione diretta su armonica o su fondamentale usando le tubazioni domestiche come presa di terra, non può essere efficiente, quindi è indispensabile un contrapeso. In questo caso i sistemi della fig. 261, possono essere felicemente adottati badando sempre che il contrapeso si trovi piuttosto distante dall' aereo vero e proprio.

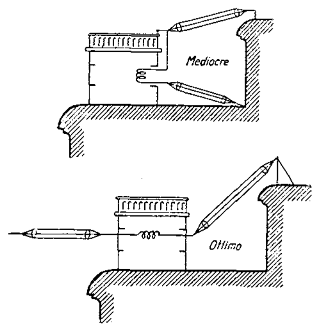


Fig. 261.

Molto spesso può sembrare conveniente l' uso di un sostegno tanto massiccio, quanto effimero: un *comignolo*. È sconsigliabile esercitare uno sforzo sia pur minimo su un sostegno di questo genere, per evitare le noie e i dispiaceri anche gravi che potrebbe arrecare la sua caduta. In questo caso è meglio sobbarcarsi l' onere e il sacrificio di un sostegno speciale.

Questo potrà essere costituito da una putrella di ferro murata al di sotto del tetto in riscontro di un muro (fig. 262). Un sistema forte ed assolutamente sicuro contribuirà non poco al successo ed alla continuità del lavoro, permetterà di tendere a piacere e senza alcun timore il proprio aereo, e non temerà alcun vento o bufera. È bene porre il sostegno metallico in contatto col suolo.

In campagna le cose si semplificano molto, ma, tuttavia, nel caso di di tramissione e ricezione con onde corte è sconsigliabile l' uso di alberi

come sostegni. Essi oltre ad imprimere nocive oscillazioni all'aereo stesso ne determinano quasi sempre la rottura. Anche in questo caso il maggior fattore di successo dipende dalla rigidità del sistema.

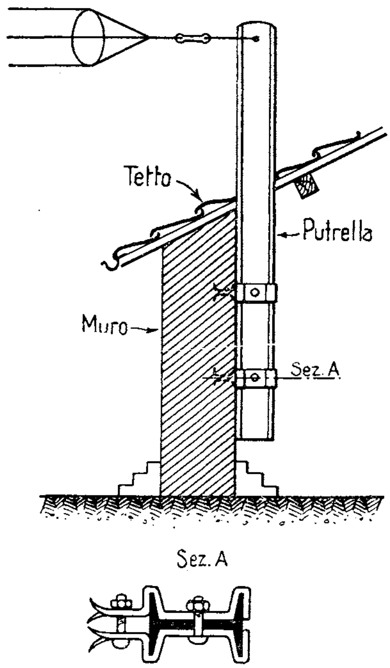


Fig. 262.

L'antenna può essere situata anche a distanza notevole dagli apparecchi trasmettitori poichè è possibile alimentarla con una vera e propria linea di trasporto *AF*. Questo caso, molto utile quando si può sfruttare una posizione migliore, è considerato più avanti.

L' aereo deve terminare ad una certa distanza dai suoi sostegni, notevole se questi sono metallici.

È sempre preferibile la corda di acciaio per tendere l' aereo, poichè essa dà una maggiore sicurezza, non risente delle variazioni atmosferiche e può essere sufficientemente sottile. Tuttavia, se i sostegni non sono metallici, la sua presenza può riuscire dannosa, e allora è conveniente usare una buona fune di canapa scegliendo un diametro molto grosso, sia per precauzione, sia per evitare il comune difetto dell' elasticità della fune stessa.

L'antenna deve poter essere abbassata, alzata, tesa o allentata nel più facile e comodo dei modi. Quindi la corda di tensione passerà su una carrucola almeno da una parte e sarà quindi condotta in luogo accessibile. La carrucola deve essere ben costruita per evitare intoppi dannosi e protetta da una fascia metallica che impedisca l'uscita della fune (fig. 263).

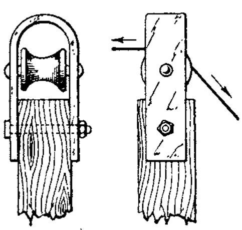


Fig. 263.

Influenza dei corpi vicini. — Muri e fabbricati vicini non sono dannosi in modo notevole quando la frequenza è alta, a meno che non siano umidi. Boschi sovrastanti, grandi costruzioni metalliche e specialmente condutture elettriche vicine, lo sono in grado molto maggiore. Nel pieno di un folto bosco è presumibile che buoni risultati

potranno essere ottenuti soltanto operando l'aereo su armonica (3° e 5°) e specialmente con un aereo verticale molto alto. Questo artificio è pure da usarsi quando ci si trova in un cosidetto punto morto, cioè molto sotto ad una collina o montagna.

In presenza di grandi masse metalliche ben poco possiamo fare, se esse sono relativamente lontane; se invece sono molto prossime, come per esempio tetti metallici, scafi, pali, ecc. è bene farne addirittura uso come parti integrali del sistema radiante stesso. Con artifici di questo genere si arriva spesso a rendimenti superiori a quelli ottenibili nelle migliori condizioni normali.

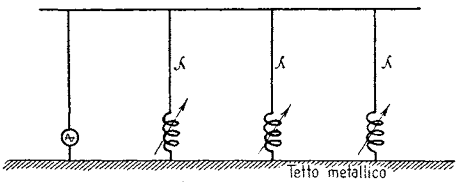


Fig. 264.

Così il tetto metallico della fig. 264, può essere utilizzato per costruire un'antenna multipla notevolmente direttiva e di buon rendimento.

Il sistema della fig. 252 fu esperimentato durante la campagna R. T. 1924 della R. Nave « San Marco » che portava una delle prime stazioni ad onda corta (v. parte 4ª). Questa si trovava vicina al grosso albero della nave ed era circondata da masse metalliche che determinavano un grande assorbimento. Realizzando il sistema della fig. 265, si ottenne un rendimento almeno doppio di quello di una perfetta stazione terrestre.

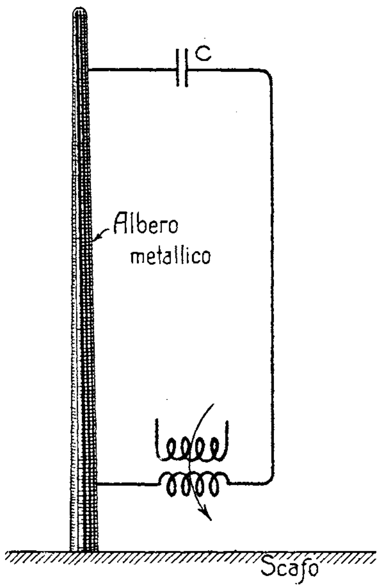


Fig. 265.

In questi casi bisogna essere molto precisi nella sintonizzazione delle varie parti e generalmente adottare la determinata lunghezza d'onda che si dimostra migliore.

Quando si hanno condutture vicine (elettriche, cavi, tiranti, ecc.) occorre assicurarsi se queste o alcune di queste possono vibrare con periodo prossimo a quello di aereo determinando in tal guisa un forte assorbimento.

Un metodo molto semplice consiste nel variare gradualmente la λ mantenendo costante la potenza assorbita e annotare i valori della corrente di aereo. Portando questi valori su un

foglio dove due assi ortogonali rappresentino tanto i valori della λ che quelli della corrente di aereo, si scopre facilmente il punto di risonanza con le masse vicine a cagione di un anormale aumento della corrente stessa. Questo metodo sebbene alla portata di tutti non è molto preciso, sia perchè la potenza assorbita dal conduttore vicino deve essere notevole, sia perchè è possibile ottenere soltanto una indicazione *media* dei periodi di vibrazione dei singoli conduttori. Un altro metodo più preciso consiste nel rivelare e misurare l'onda *ri-radiata* dai conduttori vicini, per ogni data λ emessa. Infatti qualsiasi conduttore posto nelle vicinanze, divenendo sede di oscillazioni tanto più facilmente quanto più il suo periodo si avvicina a quello dell'oscillatore, deve a sua volta irradiare di nuovo (ri-radiare) l'energia captata. In alcuni casi l'entità di questa è simile o addirittura superiore a quella primaria tanto che è possibile accorgersi del difetto anche a distanza grandissima. Molti infatti hanno notato come alle volte sia possibile ricevere il medesimo segnale in due o tre punti molti vicini sia pure con differente intensità.

Senza dubbio in questi casi il segnale viene da una stazione mal sistemata e che perciò divide la sua energia per alimentare tanti differenti radiatori e quindi con esiguo rendimento.

L'accorgersi di questo fatto è molto utile.

Se si è dubbiosi della sua esistenza conviene sincerarsene sistemando un ricevitore senza aereo nè terra a distanza sufficiente per udire non troppo forte l'onda normale; si esplora quindi con molta cura la gamma immediatamente intorno a questa e alle prime armoniche e si scopriranno altre emissioni più o meno intense a seconda dell'ubicazione e delle caratteristiche del filo perturbatore. Notata la loro esistenza e il loro numero (1-2 nei casi migliori e una ventina e più nei meno fortunati) bisogna procedere alla individuazione.

Se l'intensità non è molto grande basta avvicinare il rivelatore finchè il notevole aumento del segnale ce ne indichi la sorgente.

Questo metodo è utile quando la potenza totale è molto piccola ed occorre allora accostarsi addirittura al conduttore in esame per scoprire la debole irradiazione. Quando invece la potenza è notevole e le onde irradiate sono poderose, non si può avere nessuna pratica indicazione avvicinando il rivelatore, poichè i segnali molto intensi si confonderanno a vicenda. Occorre in tal caso o ricorrere a un ricevitore meno sensibile (cristallo, per esempio) o addirittura avvicinare l'ondametro munito di una delle solite piccole lampade (v. 3° cap.). Ci si convincerà in tal guisa ancor meglio quanto alta possa essere la percentuale di energia perduta in questo modo. Rimediate le perdite maggiori si aumenterà

sempre più la sensibilità del ricevitore per cercare di scoprire e rimediare anche le più insignificanti.

Per cambiare il periodo di oscillazione proprio dei conduttori vicini si possono inserire condensatori e induttanze fra loro e fra loro e la terra.

Così nel caso di linee elettriche perfettamente isolate basta generalmente qualche condensatore (2-5 mpf) e per conduttori in contatto col suolo qualche bobina di induttanza adatta, per il cambiamento necessario (fig. 266).

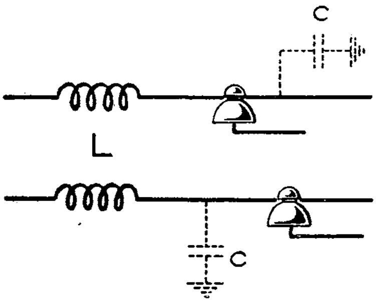


Fig. 266.

La scelta si fa volta per volta ricordando che spesso bastano *piccole* variazioni per ottenere gli effetti desiderati.

Con queste precauzioni l'impianto « di fortuna » non avrà nulla da invidiare a quello speciale.

Antenne con sostegni speciali. — Quando località, condizioni economiche e particolari lo permettono è conveniente sistemarsi nel miglior modo e le antenne dovranno quindi essere sostenute da pali speciali situati nelle migliori località.

Generalmente si dà poca importanza agli sforzi meccanici che sollecitano il sostegno, in special modo a cagione del vento, e il risultato è che fra gli innumerevoli sostegni privati esistenti ben pochi hanno resistito al primo *grande* uragano. Una torre o palo di 20 metri e più d'altezza può essere sottoposto, durante un grande uragano a pressioni da 0.5 a 3-4 tonnellate, a seconda delle dimensioni. La sua struttura, l'ancoraggio alla base e ai tiranti, e i tiranti stessi debbono quindi sopportare felicemente queste pressioni.

Nelle costruzioni civili il carico massimo al quale può essere sottoposto un corpo qualsiasi (p. es. una fune metallica) non deve superare un decimo o al massimo un sesto del carico di rottura del corpo stesso.

Occorre quindi mantenersi in questi limiti anche nelle costruzioni che ci interessano, cosa seguita da troppo poche persone e quindi con innegabile danno.

Esaminando i vari casi cerchiamo di classificare i sistemi migliori.

Sostegni inferiori ai 10 metri. — Questi sostegni sono generalmente usati per aumentare l'altezza utile di un fabbricato e vengono quindi posti in alto e spesso in disagevoli posizioni.

Essi, sebbene di altezza relativamente piccola, debbono venir considerati come i più difficili da installare tanto che spesse volte riuscirebbe più conveniente la sistemazione al loro posto, di un sostegno di altezza doppia e basato direttamente sul suolo.

Fino a cinque metri è più conveniente fissare un palo o una putrella metallica come alla fig. 262, senza nemmeno dover ricorrere a tiranti. Per altezze maggiori è indispensabile disporre di almeno una serie di tiranti in tre o quattro direzioni. Credo sia in questo caso più conveniente l'uso di un buon palo in legno che presenta il vantaggio una volta ben amarrato, di una maggiore stabilità. D'altra parte la sua leggerezza lo rende più trasportabile e più facilmente alzabile anche in punti difficili. Il palo metallico necessariamente di sezione molto minore, avrebbe appunto per questo una grande elasticità nociva agli scopi che ci siamo prefissi. La migliore soluzione resta in ogni modo il palo a traliccio (in legno) che qui descrivo:

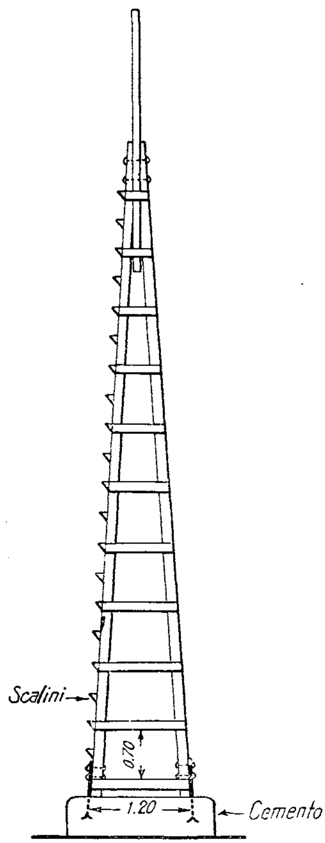


Fig. 267.

Esso è più leggero di un palo massiccio che abbia la medesima solidità e si presta ad essere facilmente costruito da chiunque. Occorrono tre quadrelli di legno (murali) di 6-7 metri di lunghezza e di 6-8 centimetri di lato, ed alcune traverse di legno.

Si segano due dei murali come alla fig. 267, in modo che possano essere saldamente collegati al terzo che si fa sporgere della metà. Ciò fatto si inchiodano due triangoli di legno nel punto di unione e si fissano i due travetti fra loro e al terzo a mezzo di assicelle poste ogni 60-70 cm. e dello spessore di 25 mm.

La base viene avvitata su apposito blocco di cemento munito di ferri.

I tiranti debbono essere almeno due in direzioni perpendicolari al piano del triangolo: essi si fisseranno al punto *B* munendolo di un piccolo collare di ferro; e dovranno potersi tendere a mezzo di adatti « tendi-fili ». La base del palo nel caso di sistemazione su fabbricati

non poserà direttamente sul solaio. È conveniente aumentare la base di appoggio o piazzare il sostegno sopra un muro sottostante (fig. 268).

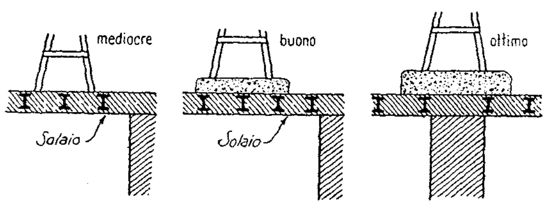


Fig. 268.

Lungo uno dei lati del palo si inchioderanno dei triangoli di legno per permettere una facile salita.

La pressione massima del vento su un sostegno di questo genere non supererà i 500-800 kg. quindi i due tiranti possono avere una sezione di mm. 6-7 se in corda d'acciaio.

Prima di sistemarlo lo si vernicia con due mani di biacca ben stesa e infine può essergli dato il colore più gradito.

Sostegni inferiori a 20 metri. Torri. — L'installazione su fabbricati di sostegni così alti non è molto consigliabile a meno non sia possibile costruirli sul fabbricato stesso e disporre di un gruppo di persone esperte ed adatte per l'innalzamento.

Di tutti i tipi esistenti uno solo, si presta ad essere facilmente costruito con relativa economia fornendo tuttavia ogni miglior assicurazione di una perfetta stabilità. Esso è il palo a traliccio che descrivo frutto di buona esperienza e di varie prove.

Occorre anzitutto disporre di una striscia di terreno o di fabbricato, terrazza ecc. ben piana e lunga almeno come il palo che si desidera costruire. Se il terreno non è perfettamente piano è bene costruire sei o sette sostegni tutti allo stesso livello (fig. 269).



Fig. 269.

Si incominciano a costruire i travetti principali con tavole di 6 cm. di larghezza, spesse 25 mm. e lunghe 4 metri ciascuna.

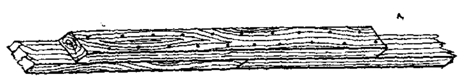


Fig. 270.

Esse si collegano come alla fig. 270, in modo che la giuntura riesca la più solida possibile.

I chiodi si dispongono a 10 cm. di distanza uno dall'altro e debbono ribattersi dalla parte opposta per la lunghezza di un centimetro.

Il legno da usarsi è *pino* o *abete*. Il pino è specialmente conveniente per sopportare con successo una continua permanenza nell'umidità piuttosto che frequenti sbalzi fra calore e pioggia ecc. In questo secondo caso è consigliabile l'abete. Occorre scegliere una venatura che si lasci

attraversare dal chiodo senza crepare. Durante il montaggio, se il legno è ancora greggio, è bene verniciare le superfici che vengono a contatto, per una maggiore protezione.

Dopo avere completato i quattro travetti principali occorre eseguire in ogni sovrapposizione una buona legatura con striscia di ferro del commercio, ben tirata ed inchiodata. Questa deve « mordere » il legno e per tirarla si usa un morsetto a mano (figura 271).

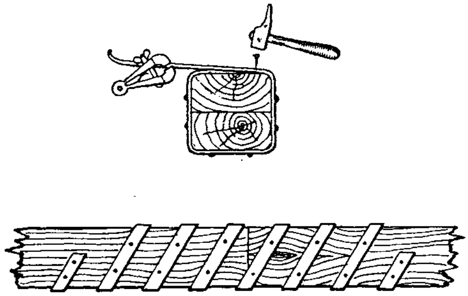


Fig. 271.

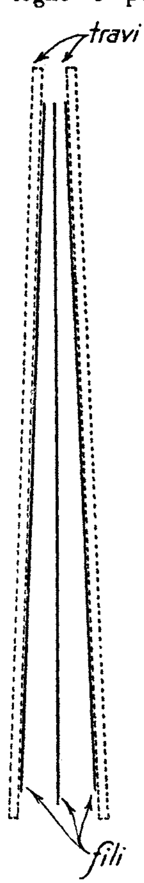


Fig. 272.

Si dispongono quindi sul nostro piano due travetti in modo che le parti estreme distino 60 cm. alla base e 25 all'estremità superiore. Si tendono allora tre fili (fig. 272) uno dei quali rappresenti l'asse perfetto del sostegno e con l'aiuto di questi si allineano le due travi simmetricamente al filo centrale, « imbastendole » con tre o quattro traversine provvisorie.

Questa prima parte del lavoro è molto importante e richiede ogni maggior scrupolo poichè da essa dipende il successo di tutto il montaggio.

Quando si è sicuri dell'allineamento perfetto si fissano definitivamente le traversine (larghe 6 cm. e di 20-25 mm. di spessore) ogni 70 cm., verificando di frequente affinchè lo angolo fra queste e i dritti rimanga costante. Queste traversine si lasciano sporgere per 3 cm. a destra o sinistra in modo che a montaggio ultimato sia possibile collegarle come alla fig. 273.

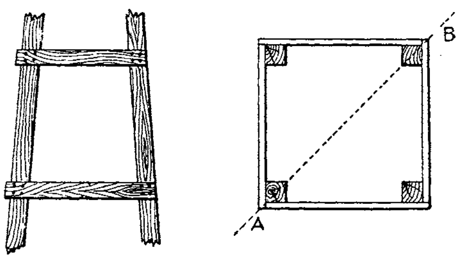


Fig. 273.

Una volta sistemate tutte le traversine si cominciano a sistemare le traverse incrociate costituite di tavola di legno di 1 cm. di spessore e 5 cm. di larghezza. Esse sono semplicemente sovrapposte al centro e inchiodate soltanto agli estremi come alla fig. 274.

Nelle posizioni AA' ecc. debbono essere tagliate volta per volta alla giusta lunghezza cercando di essere il più possibile precisi, poichè è a queste traverse che è affidata tutta la solidità della torre.

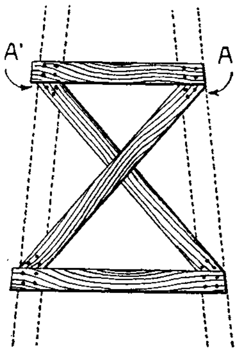


Fig. 274.

Anche durante queste operazioni, se il legno non è già verniciato, occorre spalmare di biacca le sovrapposizioni dei vari pezzi.

Una volta terminata la prima faccia, si posano su di essa le altre due travi e se ne costruisce un' altra assolutamente identica, quindi si procede ad una imbastitura delle due parti con le stesse precauzioni della prima volta, per costruire la terza e la quarta faccia rispettivamente. Perchè il lavoro riesca perfetto occorre adoperare continuamente il metro e la squadra poichè le più piccole differenze al principio, portano alla fine grandi errori.

Una torre di 20 metri unita con ogni massima precisione, può essere costruita, se si è sufficientemente abili, in una quindicina di giorni di lavoro. Il tempo di costruzione può essere abbreviato a scapito della qualità dell' opera o con l' aiuto di una persona abilissima e veloce poichè è sempre consigliabile che il montaggio sia eseguito dal principio alla fine da uno solo.

La torre ultimata si lega con striscia metallica almeno in quattro punti e si vernicia quindi con due mani di biacca. Fino all' altezza di 18-20 metri è possibile sorreggere questo tipo di torre con una sola serie di tiranti in quattro direzioni (raramente 3). All' uopo occorre fissare circa a tre quarti d' altezza una ghiera metallica (fig. 275) munita di solidi bulloni. È consigliabile una fascia in ferro di 8 mm. di spessore e 50 di larghezza. Sui bulloni si infila una carrucola che deve ricevere la fune. Il bullone è sottoposto a sforzo di taglio ed ha quindi una sezione *tripla* della fune stessa. La tabella seguente dà i valori del *carico di rottura* delle funi d' acciaio fuso del commercio, quindi il diametro si sceglie per un carico di rottura 6-8 volte maggiore del carico massimo che può agire sulla fune.

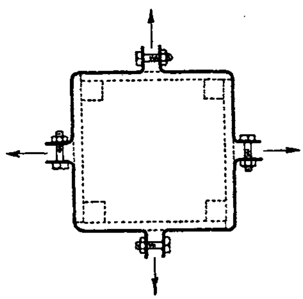


Fig. 275.

Supponendo un carico massimo (durante un grande uragano) di 2500 kg. si sceglierà la fune di mm. 16. Pe calcolare empirica-

Diametro m/m.	Peso per 100 m.	Carico di rottura per $K = 140$ kg. m/m^2
6	15 ca.	2000 ca.
7	21	3000
8	27	4000
9	34	5000
10	42	6000
11	47	7000
12	55	8000
13	66	9800
14	75	11000
15	85	12500
16	95	14500

mente la spinta massima che potrà esercitare il vento sulla torre si possono stabilire 200 kg. per metro quadrato di superficie considerando la superficie lungo il piano *AB* come se fosse piena.

Così una torre di 20 metri del tipo descritto dovrà resistere ad una spinta massima di circa 1500 kg. che si potranno per sicurezza portare a 2000, quindi occorreranno funi di 14-15 mm.

Desiderando assicurare l' antenna con due serie di tiranti la sezione delle funi si riduce alla metà; in questo caso è consigliabile assicurare le due serie in otto direzioni. I tiranti sono muniti di tenditori alla base che fanno capo a solidi ancoraggi.

Se si dispone di una sola serie di tiranti è meglio abbondare nelle loro dimensioni che economizzare, per avere un maggior coefficiente di sicurezza.

La fig. 276 mostra questo tipo

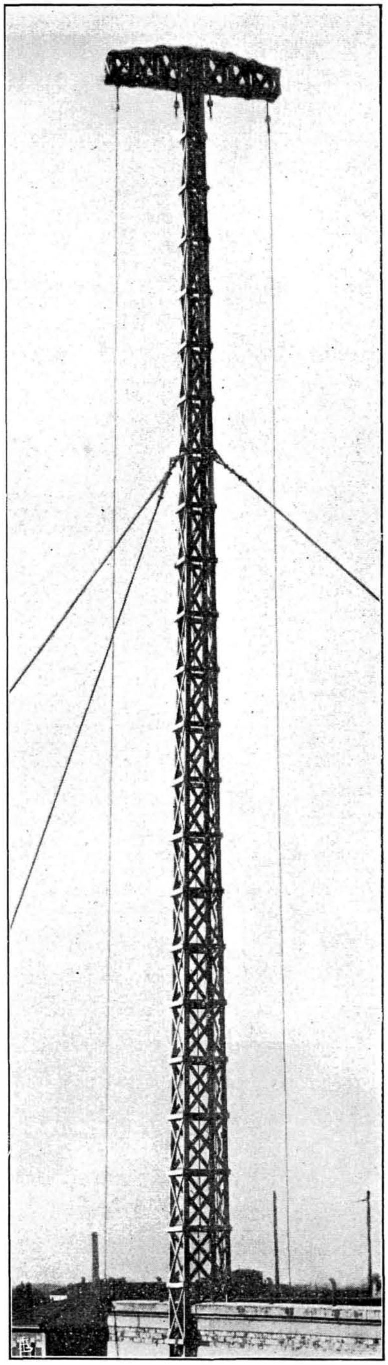


Fig. 276.

di torre costruita per il mio laboratorio e munita di una testa speciale per permettere l'uso di varie antenne, riflettori, ecc.

Essa è alta circa 20 metri e si trova su una terrazza a 16 metri dal suolo (fig. 277). I tiranti sono soltanto tre, per esigenze locali, in corda d'acciaio fuso al crogiuolo di 14 millimetri di diametro, e pesano circa 100 kg. Essi sono ancorati come mostra la figura 278.

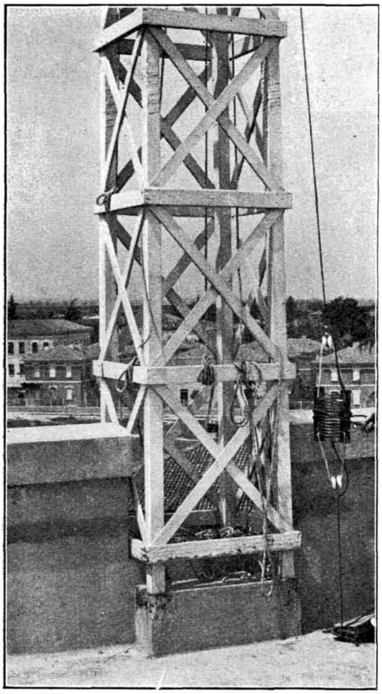


Fig. 277.

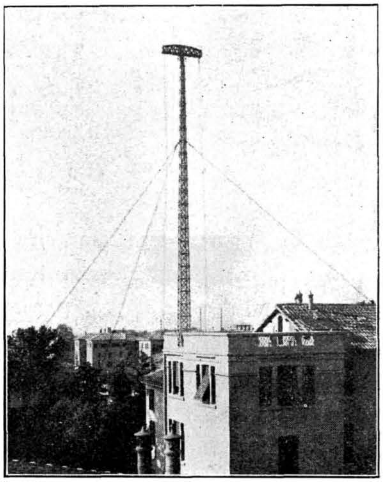


Fig. 278.

La torre completa pesa circa 300 chilogrammi è perfettamente e facilmente accessibile fino all' estremità con la massima sicurezza e sotto le più poderose bufere di vento non si muove percettibilmente.

Essa deve essere riverniciata almeno ogni due anni.

La fig. 279 mostra una sistemazione di torri metalliche su un edificio di considerevole altezza.

Torri fino a 30 metri ed oltre. — Fino ad una altezza di 30-40 metri è possibile costruire torri di legno ed innalzarle tutte in un pezzo. Oltre questa misura occorre sistemarsi in modo da potere costruire la torre in opera salendo mano mano ma ciò non è consigliabile se non a persone molto esperte e quindi non è opportuno considerare qui questo caso.

Una torre di 35 m. ha alla base almeno 80 centimetri di lato e alla estremità non meno di 35. I travetti principali si costruiscono nel solito modo con tavole di 8 cm. di larghezza per 35-40 mm. di spessore in modo da formare una sezione pressochè quadrata. Lo spessore delle traverse orizzontali si porta a 40 millimetri e quello delle traverse incrociate a 20 mm. per i primi 7-8 metri e a 15 per il rimanente.



Fig. 279.

La torre finita deve essere legata con striscie di ferro ogni tre metri e portare almeno due armature per tiranti in otto direzioni.

Una di queste è identica a quella già esaminata (fig. 276) e viene fissata poco più su della metà, mentre l'altra è leggermente differente così da mantenere i tiranti ai quattro angoli della torre. Essa si colloca qualche metro più sotto della cima.

In tutte le altre particolarità e dimensioni si seguono i dati del paragrafo precedente senza nessuna variazione.

Isolamento dei tiranti. — È usanza generale spezzare ogni due o tre metri il tirante inserendo un isolatore per evitare assorbimenti e perdite. Ora, il lavoro speso a dividere 4-8 tiranti di grossa fune di acciaio, in 10 o più parti ciascuno è addirittura enorme. D'altra parte la sua utilità, quando si usano onde corte è piuttosto dubbia, sia per la apprezzabile capacità degli isolatori che diminuisce molto il loro effetto sia perchè lasciando intatti i tiranti stessi e magari collegandoli insieme si viene a creare un sistema *ad ombrello* con una lunghezza d'onda propria ben superiore ad ogni altra che si avrebbe occasione di usare.

Si potrebbe avere la risonanza su qualche armonica, ma ciò è di poca importanza per l'ordine elevato di questa e può d'altra parte rimediarsi con uno dei sistemi già considerati.

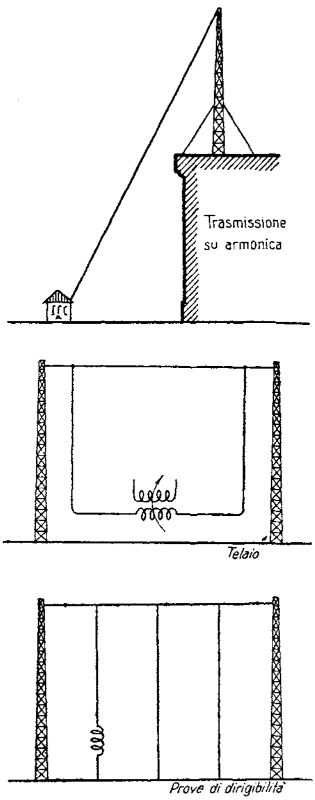


Fig. 280.

Riassumendo è ottima cosa spezzare i tiranti con isolatori, se questi ultimi hanno una capacità minima e se sono collocati almeno ogni 2-3 metri.

Negli altri casi è possibile mantenersi nelle migliori condizioni usando tiranti completamente metallici, messi a terra e collegati fra loro. Ciò è anche utile, considerando l'aumentata resistenza meccanica, per la sicurezza e la stabilità.

Il numero delle torri è diretta funzione dei mezzi disponibili e degli scopi che si propone il costruttore.

Così coll'uso appropriato di una o due torri, collocate a conveniente distanza e di adatte dimensioni è possibile condurre un serio ed importante lavoro esperimentale nei riguardi della propagazione delle onde corte (v. parte 5ª), lavoro che non sarà mai abbastanza raccomandato.

La fig. 280 mostra alcune delle possibili realizzazioni.

Sistemazione della torre. — Quando ogni più minuto particolare di costruzione è ultimato si può iniziare la parte più difficile dell'impresa e cioè l'innalzamento. Per fare questo è necessario un punto di appoggio alto almeno due quinti della torre stessa.

Esso è bene sia fisso nel maggior numero dei casi: così per esempio una scala bene fissata con tiranti, qualche fabbricato vicino, qualche alto albero ecc. possono ottimamente servire.

A questo punto di appoggio deve essere fissato il paranco o carrucola differenziale per issare il sostegno a mezzo di corda che si assicurerà in un punto che permetta l'equilibrio della intera torre. Nella maggior parte dei casi però si sarà obbligati ad assicurare la fune molto verso la base, tanto che la parte inferiore riuscirà più pesante, così che occorrerà assicurare la base stessa per mantenere l'insieme nella giusta

posizione durante l'issamento. Se il punto d'appoggio è molto solido non occorre avere alcuna cura dei tiranti (previamente assicurati alle rispettive ghiere) finchè non si avrà posta ed assicurata la torre sulla relativa base; essi si tireranno allora gradualmente e nello stesso tempo fino ad ottenere una tensione giusta ed uniforme.

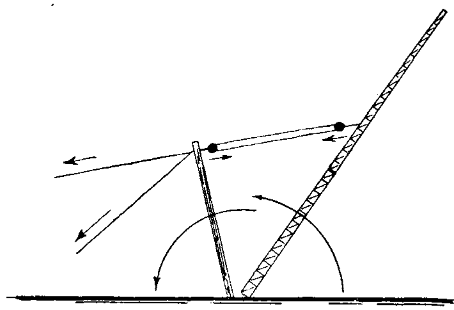


Fig. 281.

Un altro metodo d'innalzamento consiste nell'utilizzare un secondo sostegno, che abbia la base prossima a quella della torre e che porti una carrucola all'estremità superiore: la fig. 281 mostra poi come coll'aiuto di questo sostegno sia possibile sollevare senza sforzo una torre di notevole altezza.

Antenne per posti mobili ad onde corte. — Finora abbiamo considerato sistemazioni fisse nelle quali dimensioni pesi e altezze potevano essere riguardate come sempre raggiungibili.

Quando l'impianto invece è trasportabile e deve rispondere a determinati requisiti, la cosa è ben differente.

Consideriamo da prima impianti terrestri.

Per la ricezione non è da preoccuparsi. Un filo qualsiasi teso fra alberi, case o altri fortunosi sostegni, anche soltanto di qualche metro di lunghezza è più che sufficiente. Per la trasmissione invece può essere conveniente usare un lungo filo a qualche metro dal suolo e operarlo su un'armonica dispari quando ben inteso non sia possibile innalzarsi in buone condizioni. Questo sistema che permette anche comunicazioni a grande distanza è particolarmente utile a spedizioni scientifiche e militari, per esperienze in campagna, studi ecc., poichè è di minimo ingombro e di istantanea sistemazione. Esso può d'altra parte essere molto utile in guerra, quando sia necessario nascondere la presenza del trasmettitore.

Generalmente quando il posto trasmettitore e ricevitore deve essere mobile, si ricorre all'uso del quadro. Quando lo spazio lo permette, si può anche usare il tipo di antenna detto *a condensatore*, che è costituito da due conduttori molto ampi (per esempio rete metallica) posti ad una certa distanza fra loro e collegati alla guisa di antenna e contrapeso.

La fig. 282 mostra schematicamente un' installazione di questo genere su autocarro, mentre la fotografia della figura 283 illustra un impianto a quadro su automobile usato per la misura del campo e. m.

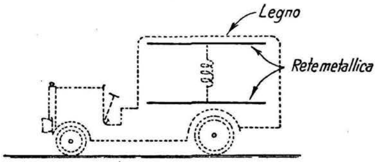
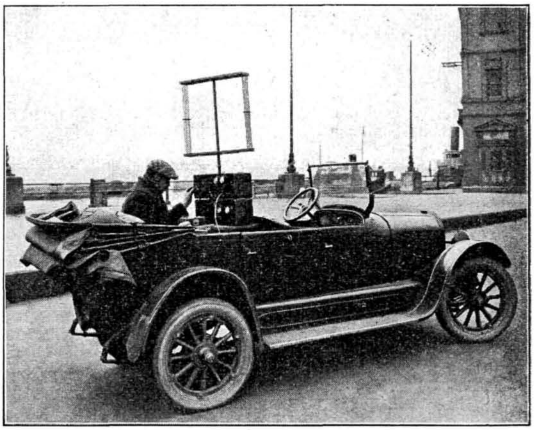


Fig. 282.

Il quadro per dare un buon rendimento deve essere operato su onde inferiori ai 50 metri e preferibilmente formato con una sola spira di grossa sezione.

In generale quando la massa del veicolo è metallica conviene usarla come contrapeso.

L' antenna di un velivolo è generalmente costituita da un lungo filo (da 50 a 100 m.) che una volta in volo, si svolge nella scia del velivolo stesso. Questo stesso tipo di antenna può essere adoperata per emettere o ricevere onde corte sia su fondamentale (e quindi riducendola) che su armonica.


Fig. 283.

Però il vantaggio principale della applicazione delle onde corte è quello di permettere l' uso di aerei fissi e quindi usabili in qualunque condizione, altezza ecc., ed eventualmente anche quando la macchina è a terra. Ciò si ottiene sia con aerei a telaio, già usati da vario tempo, sia con vere e proprie antenne tese fra le ali.

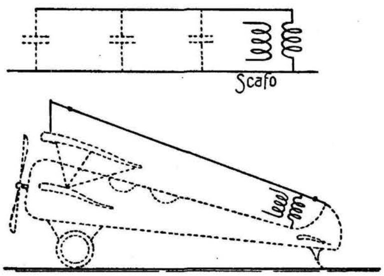


Fig. 284.

Lo scafo viene usato come contrapeso.

Un sistema molto conveniente, a mio parere, è quello di costruire un vero e proprio « quadro », una parte del quale sia lo scafo stesso (fig. 284).

Antenne per piccole navi. — Nelle piccole imbarcazioni (diporto, pesca ecc.) è possibile installare efficaci gruppi trasmettenti riceventi, ma in questo caso occorre avere alcune precauzioni specialmente riguardo alla stabilità d' onda quando il mare non è calmo. Oltre il tipo di trasmettitore che deve essere speciale (v. parte 4ª) anche l'antenna deve essere convenientemente sistemata. Se lo scafo è di metallo l'antenna si fa correre parallela a questo e alla massima distanza possibile. Si eviteranno sempre casi come alla fig. 285, che possono determinare nocive reazioni fra i due rami, accontentandosi piuttosto di un aereo anche cortissimo, ma ben sistemato. Quando lo scafo è di legno è indispensabile usare un aereo a quadro delle massime dimensioni possibili. La sistemazione di questo nelle imbarcazioni a due alberi è facilmente immaginabile. Quando si dispone invece di un solo albero, che è sempre verso prua, si può sistemare un quadro come quello della fig. 286 *a*, con ottimo rendimento.

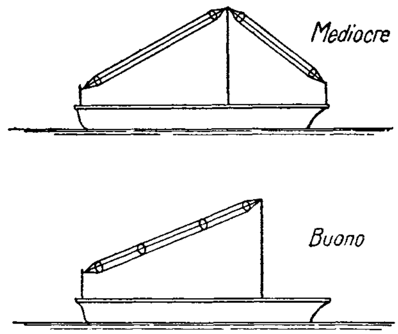


Fig. 285.

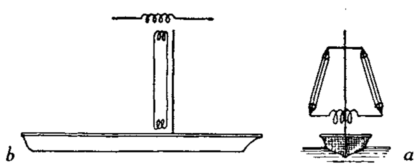


Fig 286.

L'uso del quadro permette di sentire molto meno l' azione del mare agitato di quanto non lo permetta un vero e proprio aereo.

Desiderando sistemare quest'ultimo conviene quasi sempre adottare l'alimentazione con linea *AF* (fig. 286 *b*) per evitare eventuali assorbimenti nocivi e nello stesso tempo diminuire l' influenza delle oscillazioni dello scafo, poichè l'aereo viene a trovarsi molto in alto.

CAPITOLO III.

MISURA DELLA LUNGHEZZA D' ONDA

L' ondametro. — Non è inopportuno accoppiare ai due capitoli precedenti che trattano del sistema radiante, una breve descrizione dei metodi e delle costruzioni necessarie alla misura della lunghezza d' onda delle oscillazioni da questo irradiate o ricevute; anche perchè è praticamente impossibile iniziare qualsiasi lavoro o ricerca senza potere, almeno elementarmente e con mediocre precisione, conoscere la principale caratteristica delle vibrazioni in istudio e cioè la loro frequenza (1).

Abbiamo già veduto nella prima parte come la relazione fra lunghezza d' onda e frequenza dipenda dalla velocità di propagazione della vibrazione stessa e come supposta questa di 3×10^8 metri al secondo si abbia la relazione pratica:

$$\text{lunghezza d'onda in metri} = \frac{300.000.000}{\text{frequenza dell'o. in periodi}}.$$

Quindi un istrumento adatto alla misura della frequenza può anche essere usato per misurare la lunghezza d' onda ed avere una scala graduata appunto a questo scopo.

Questo speciale istrumento, universalmente conosciuto ed adoperato, è chiamato *ondametro.*

Un ondametro consiste essenzialmente in un circuito, la cui frequenza di risonanza è variabile ma conosciuta in ogni punto, e che può portarsi a risuonare con la frequenza da misurare. Il più semplice ondametro potrebbe essere formato da una induttanza a variometro, che assieme alla capacità propria dell' avvolgimento costituirebbe il circuito oscillante necessario. Ma questo sistema non è usato perchè presenta fra gli altri, il difetto dell' instabilità. La forma usuale invece dell' ondametro è un circuito contenente una induttanza fissa, una capa-

(1) Nella parte 5a, dove si tratta delle principali misure necessarie ed utili all' esperimentatore, ritornerò sull' argomento esaminando metodi più precisi e sufficienti per la misura e la produzione dei veri « campioni d' onda ».

cità variabile e infine un istrumento adatto per indicare il punto di risonanza (v. fig. 287). Quando la condizione di risonanza (v. pag. 28) è raggiunta, cioè quando la frequenza naturale del circuito coincide con la frequenza della f. e. m. indotta, la impedenza del circuito è minima ed uguale soltanto alla sua resistenza ohmica, così che la corrente che lo attraversa è massima.

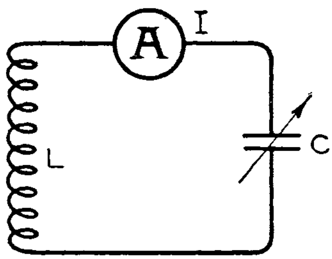


Fig. 287.

L' istrumento indicatore mostrandoci questo massimo ci mostra quindi anche il punto di risonanza.

A seconda dell' entità della corrente a disposizione vari sono gli istrumenti indicatori usati. Quando questa è sufficientemente elevata possono usarsi istrumenti termici ad indicazione diretta nei quali cioè il passaggio della corrente determina l' incandescenza del conduttore o la sua dilatazione.

Alla prima categoria appartengono le piccole lampade universalmente conosciute ed adottate; alla seconda gli amperometri termici (v. parte 4^a) la sensibilità dei quali può essere spinta fino a dare una scala completa con 30-40 milliamperes. Evidentemente la lampada dà soltanto una indicazione qualitativa del massimo, mentre il secondo sistema ne dà anche il valore. Quando la corrente AF da misurare è esigua i due sistemi descritti non rispondono più allo scopo. Si ricorre allora ad altri artifici. Uno dei più razionali per la sua stabilità è l' inserzione in circuito di una sensibile pila termo-elettrica la quale faccia agire a sua volta un galvanometro. Questo sistema che permette raggiungere una grandissima sensibilità ha il principale diffetto di essere molto costoso quando la sensibilità desiderata deve essere grande. Oggi è possibile infatti disporre di pile termo-elettriche speciali (nel vuoto) e di galvanometri tali da dare una scala di 150 m/m con 2 milliamperes ed anche meno.

L' indicatore termo-elettrico può essere pratico ed accessibile a tutti soltanto quando la scala massima dispone di almeno 100 milliamperes; ma ciò evidentemente non potrebbe essere che nel caso di potenti oscillatori vicini.

Per mantenere una grande sensibilità con semplici mezzi occorre abbandonare gli indicatori termici e ricorrere ad una vera e propria rivelazione mediante raddrizzamento, come nel caso comune della ricezione. Il più semplice rivelatore essendo quello a cristallo, è questo che è stato universalmente adottato. La corrente raddrizzata da esso

deve essere resa palese ai nostri sensi a mezzo di un adatto indicatore: il comune telefono si presta in molti casi quando la vibrazione in esame è modulata o smorzata; il galvanometro invece può dare utili indicazioni quando la vibrazione è persistente.

Da quanto abbiamo esposto risulta evidente che: quando la potenza disponibile è notevole è conveniente usare una piccola lampada o un altro *semplice* indicatore termico: quando invece questa è minima occorre usare un raddrizzatore.

Vi è infine un altro sistema molto semplice, noto ed efficace: la emissione viene cioè da prima rivelata con un istrumento ricevitore qualsiasi portato a risonare con questa, e successivamente l'ondametro è confrontato col ricevitore stesso. Il confronto risulta indiretto ed è necessaria cura ed attenzione maggiore per evitare le più numerose probabilità d'errore. Questo metodo è oggi adottato comunemente per la misura della lunghezza d'onda di emissioni provenienti da lontano.

Il confronto coll'ondametro non è molto semplice come può a prima vista sembrare, e si sono anzi escogitati vari metodi per aumentare la accuratezza e la precisione della misurazione il valore della quale può essere compreso fra il 0,1 e il 5 per cento del reale.

Il metodo più semplice consiste nell'accoppiare fortemente il circuito dell'ondametro a quello del ricevitore e variare la sintonia del primo finchè si ottiene una forte diminuzione o addirittura la scomparsa della emissione da misurare: ciò prova che l'ondametro ha raggiunto la risonanza. Questo sistema ha però il grave diffetto di determinare una notevole reazione fra i due circuiti così fortemente accoppiati e quindi un cambiamento d'accordo che rende la misura soltanto approssimata. Però nel caso comune della ricezione, dove non è richiesta una grande precisione e specialmente quando il ricevitore è a reazione, questo è superiore all'altro che descriveremo. Infatti oltre ad avere una maggiore semplicità di costruzione nell'ondametro (self + capacità) e quindi una maggiore costanza nelle indicazioni, portandosi col ricevitore al punto estremo verso il quale le oscillazioni locali stanno per spegnersi, è sufficiente accoppiare anche lascamente l'ondametro, per determinare, un volta raggiunta la risonanza, il brusco smorzamento e quindi una chiara indicazione. Nel caso della misura corrente di onde corte questo metodo è senz'altro da preferire.

L'altro metodo cui ho accennato consiste nel fare diventare lo stesso circuito ondometrico sede di oscillazioni a frequenza variabile, in modo che il ricevitore sia influenzato a distanza e quindi il principale diffetto del primo sistema sia eliminato. Questo artificio può riuscire utile per

una grande o mediocre precisione a seconda che le oscillazioni generate dall'ondametro sono persistenti o smorzate, precisione tanto minore quanto più il decremento (v. pag. 34) del circuito stesso è pronunciato.

Nel primo caso l'ondametro prende il nome di *eterodina* e non è altro che un oscillatore a lampada, la frequenza del quale può essere nota per ogni determinato valore. Riservandoci di parlare più a lungo di questo sistema e della sua realizzazione si può fin d'ora notare come la precisione ottenibile è delle migliori sotto ogni rapporto. Sfortunatamente però la eterodina non si presta ad essere tarata una volta per sempre nè a dare sempre la stessa *assoluta* indicazione poichè troppi fattori determinano e influiscono sul periodo d'oscillazione di questa (batterie, lampada, ecc.). Quindi occorre sempre disporre di un ondametro del tipo già descritto per confrontarlo nelle misure di precisione, poichè esso è suscettibile di una costanza pressochè assoluta se la sua costruzione è sufficientemente accurata.

L'altro metodo consiste nell'eccitare periodicamente l'ondametro a mezzo di un vibratore qualsiasi determinando quindi in esso delle oscillazioni tanto più smorzate quanto maggiore è la sua resistenza *AF*. Questo sistema, utile per misure correnti in ricezione, non è di nessun valore quando si desidera una precisione anche soltanto relativa. È consigliabile quindi come accessorio soltanto.

Per ottenere una misurazione praticamente ottima occorre giudiziosamente unire i pregi dell'ondametro propriamente detto e della eterodina.

Costruzione dell'ondametro. — Abbiamo stabilito che le parti principali dell'ondametro sono: un condensatore variabile e un'induttanza fissa.

Il condensatore variabile deve essere scelto con cura in modo che il valore capacitativo per ogni sua posizione rimanga assolutamente costante col tempo e con l'uso. Sono da escludersi assolutamente i condensatori a dielettrico solido e liquido come pure qualunque tipo di condensatore nel quale la variazione sia ottenuta differentemente che nei comuni a lamine parallele dove la distanza fra le lamine stesse rimane invariata.

Non tutti i condensatori di questa categoria rispondono allo scopo: un buon condensatore deve avere placche massiccie ben fermate fra di loro con rondelle di separazione molto ampie. L'asse mobile di acciaio ben imperniato su un cuscinetto e non direttamente nell'isolante. Inoltre l'indice ad esso fissato deve essere assolutamente fisso affinchè un suo movimento non determini una variazione della scala. Cura speciale va

posta affinchè alle estremità della scala non vi siano brusche « fermate » che potrebbero determinare lo spostamento dell' indice rispetto alle lamine. Sotto questo punto di vista sarebbe preferibile il condensatore che può continuamente ruotare con contatto quindi a frizione. Infine si può asserire come il migliore condensatore sia certamente quello ricavato da un solo blocco di metallo con la fresa.

Utile ma non indispensabile è la protezione metallica del condensatore per evitare su esso l' effetto capacitativo degli oggetti vicini. Una scatola metallica rigidamente fissata va perfettamente bene. Essa si pone utilmente a terra e deve essere in comunicazione con le placche mobili.

La capacità del condensatore non si fa mai superiore ad un millesimo di microfarad, nè inferiore ad un decimo. Naturalmente quanto essa è maggiore in confronto all' induttanza tanto meno sono sentite le eventuali sue variazioni o l' influenza dei corpi vicini come p. es. la mano dell' operatore.

D' altra parte però, la scala è più ristretta ed occorre diminuire di molto il valore dell' induttanza.

A mio parere una capacità di un millesimo è quasi sempre la migliore specialmente se si desidera una buona permanenza delle indicazioni fino ad una lunghezza d' onda di 50 metri. Al disotto invece si usa vantaggiosamente il quarto di millesimo fino alle onde più corte. Naturalmente nel caso di onde di « qualche metro » occorre ancora diminuire.

È molto utile munire i condensatori di verniero demoltiplicatore che alla sua volta sia munito (al disotto dei 100 m.) di un manico abbastanza lungo, quando il condensatore non è schermato.

Altre utili indicazioni riguardo ai condensatori variabili e alle loro qualità si possono trovare a pag. 188.

Le induttanze dell' ondametro. — Le induttanze debbono rispondere a vari requisiti: in primo luogo la resistenza effettiva e la loro capacità distribuita deve essere la minore possibile e rimanere assieme all' induttanza totale assolutamente costante.

Abbiamo visto parlando della ricezione, quanta importanza abbia la resistenza effettiva di un circuito oscillante nei riguardi della sintonia. Ancor più importanti ragioni richiedono che pure la capacità distribuita sia la minore possibile. Infatti più capacità avremo nell' avvolgimento più grande sarà la capacità effettiva del circuito, quando il condensatore si troverà al principio della scala e non potremo utilizzare completamente la gamma di frequenze che esso solo ci permetterebbe.

È bene cercare che questa capacità dell' avvolgimento si riduca al

minimo evitando di bobinare il filo su sostegni massicci di sostanze stampate, di usare isolanti mediocri e specialmente non verniciando per nulla l'avvolgimento a meno di non usare una vernice della migliore celluloide sciolta nell'acetone. Con ciò si diminuisce anche la resistenza effettiva del circuito con grande vantaggio nella acutezza di sintonia. Il cartone

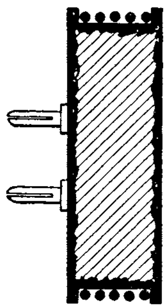


Fig 288.

ben secco sarebbe indicato come il migliore supporto ma le deformazioni alle quali può andare soggetto non lo possono consigliare. Meglio di ogni altro isolante si presenta quindi il legno duro e secco, bollito in paraffina o verniciato con celluloide o gomma lacca dopo essere stato convenientemente tornito. La forma più adatta è quella della fig. 288, che può essere realizzata con semplici mezzi e si presta ottimamente. Si torniscono infatti alcuni dischi di legno di 2 centimetri di spessore per 10 di diametro e si provvedono di spine d'innesto al centro per poter essere intercambiabili. Nella gola apposita si avvolge il filo in modo che occupi sempre tutto lo spazio disponibile. Per ottenere ciò si varia il diametro del filo stesso a seconda del numero di spire necessarie. Per onde molto lunghe si possono avvolgere più strati di filo con uno dei soliti sistemi per evitare nel miglior modo la capacità distribuita (v. pag. 166). Per onde corte invece si usa filo grosso con spire spaziate leggermente una dall'altra a mezzo di un filo che si avvolge assieme al conduttore. Questo filo (diametro di $^1/_2$ o $^2/_3$ di quello esterno del conduttore) si toglie ad avvolgimento ultimato e la bobina si può definitivamente fissare spalmando in cinque o sei punti una stretta e spessa striscia di vernice perpendicolarmente alle spire. Una doppia ricopertura di cotone è sempre raccomandabile. Sulla parte anteriore della bobina ultimata si incolla la *curva di taratura* che esprime le lunghezze d'onda in funzione degli spostamenti del condensatore o una tabella con scopo analogo (v. fig. 289).

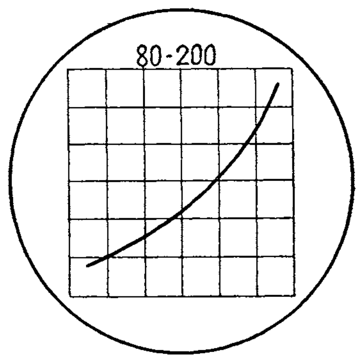


Fig. 289.

Riguardo all'altra condizione per la quale deve essere necessario che le bobine possano facilmente coprire tutta la gamma di lunghezze d'onda desiderata, per avere un utile e precisa indicazione non bisogna tenere conto dei primi e degli ultimi 15 gradi del condensatore ma bensì della zona compresa fra questi cioè fra 15 e 175 gradi.

Questa variazione determina un aumento di capacità di circa sei volte sulla iniziale e quindi un aumento di lunghezza d'onda di circa 2 volte e mezzo. Così potremo avere una bobina fra 50 e 125 metri e una fra 100 e 250, una fra 200 e 500 ecc.

La tabella dà i valori degli avvolgimenti per le bobine descritte, dipendendo però la lunghezza d'onda delle medesime da tutta la disposizione generale dell'istrumento, il costruttore potrà da sè togliere od aggiungere qualche spira.

Lunghezza d'onda	Capacità $\mu\mu f$.		
	1000	500	200
m. 30 — 70	3	6	12
» 50 — 125	6	10	20
» 100 — 250	10	18	40
» 200 — 500	40	60	80
» 400 — 1200	80	—	—
» 1200 — 2500	150	—	—
» 2000 — 5000	250	—	—

Il filo usato può essere di qualunque diametro tenendo presente di fargli sempre occupare, spaziandolo in modo adatto, tutta la lunghezza della gola delle bobine. Per onde maggiori si possono adottare altri avvolgimenti (nidi d'ape ecc.).

Montaggio e taratura. — L'ondametro che descrivo ora ha lo scopo di fornire un utile e relativamente approssimata misura per scopi di ricezione dove la rapidità e la facilità della stessa debbono essere considerate più che non lo sia la massima precisione. In seguito esporrò alcuni altri tipi più indicati per questo secondo importante requisito.

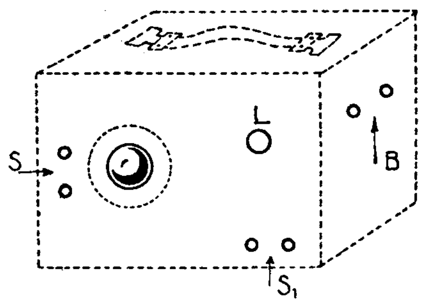


Fig. 290.

Una cassetta che abbia per coperchio una placchetta di ebanite o di legno paraffinato serve benissimo per contenere l'apparecchio in parola. Nell'interno di questa deve trovar posto il condensatore, il vibratore e la pila che lo alimenta. Su un fianco due spine possono ricevere le varie induttanze e portano in serie una minuscola lampada indicatrice per l'uso dell'ondametro in trasmissione. Un piccolo interrutore serve poi ad interrompere e ad aprire il circuito del vibratore. Ogni costruttore può trovare la sistemazione che più gli aggrada: quella della fig. 290, è consigliabile nel maggior numero dei casi.

Sulla placca anteriore trovano posto il condensatore variabile, la lampadina L e due coppie di serrafili S ed S_1 situati rispettivamente in

parallelo al condensatore e in serie all' induttanza. Il loro scopo è di potere eventualmente misurare induttanza e capacità come si vedrà in seguito. I collegamenti in filo di rame di 2 mm. si fanno ben fissi e stabili. Sul fianco destro vanno le due spine dell' induttanza colle quali si completa il circuito.

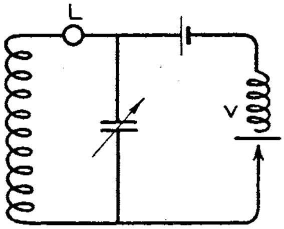


Fig. 291.

Il vibratore deve dare una nota pura e costante a fare il minimo rumore possibile ; in caso contrario occorre racchiuderlo in una scatoletta foderata di feltro. L' inserzione in circuito potrebbe essere quella della fig. 291, ma ciò oltre ad influenzare notevolmente la taratura dell' istrumento è atto a determinare una sintonia tutt' altro che acuta con svantaggio quindi nella precisione di misura. È consigliabile invece il montaggio della fig. 292, che dà un' udibilità molto minore ma una sintonia sufficiente per le misure correnti.

In questo modo l' ondametro è finito e non resta che la taratura. Disgraziatamente non tutti possono avere o disporre di un laboratorio che abbia i mezzi per fare questa operazione, nè molti possono procurarsi un ondametro campione per il confronto. Vedremo in seguito come coll' eterodina sia possibile una buona taratura conoscendo una sola onda campione.

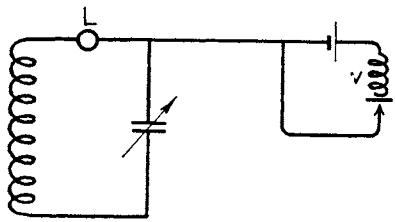


Fig. 292.

Non disponendo d' altro, occorre utilizzare le onde campione che vengono inviate da molte stazioni europee ed americane.

Ricevendo queste onde e mettendo in risonanza l' ondametro col nostro ricevitore, possiamo avere un buon numero di riferimenti utili, che portati poi su una carta millimetrata assieme ai gradi del condensatore, ci permetteranno di tracciare la curva delle lunghezze d' onda [1].

Ondametri campione. — Quando si desideri costruire un ondametro che possa mantenere a lungo e in qualunque condizione l' originale taratura occorre, come già si accennò, usare soltanto un ottima capacità ed un analoga induttanza saldata permanentemente con questa. Lo stesso sistema è da adottarsi quando la lunghezza d' onda è molto corta. Un circuito di questo genere, specialmente se la capacità è predominante

(1) Alcune stazioni commerciali ad onda corta trasmettono giornalmente con frequenza rigorosamente esatta: esse quindi possono molto facilmente fornire degli ottimi riferimenti nella taratura.

rispetto all' induttanza può considerarsi, una volta tarato, un vero campione d'onda (almeno per le esigenze pratiche di laboratorio).

La fotografia (fig. 293) mostra alcuni di questi campioni esperimentati dallo scrivente e che in vari anni non hanno dato nessun cambiamento apprezzabile di taratura. Come si vede l'induttanza è in rame rigido nell' aria ed è molto piccola rispetto alla capacità. Quando le spire sono numerose è utile legarle convenientemente con spago in due o tre punti, mantenendo la spaziatura necessaria, quindi verniciare bene la legatura stessa. I tipi indicati sono stati costruiti esclusivamente per onde corte è quindi naturale che, nel caso di onde lunghe occorre provvedere diversamente per l'avvolgimento.

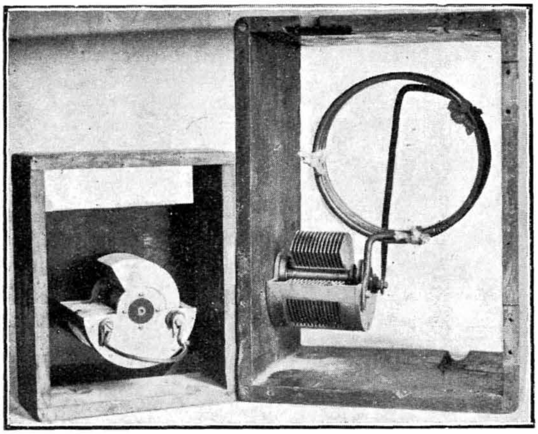


Fig. 293.

La tabella dà, con buona approssimazione, i dati di costruzione di alcuni ondametri di questo genere nei quali è usato esclusivamente filo di rame crudo da 3 a 5 m/m. con spire distanti un diametro una dall' altra.

Onda metri	Capacità mμf	SPIRE diametro	SPIRE numero
30 - 90	1	10	5
20 - 60	0,5	10	5
8 - 25	0,5	5	1
5 - 15	0,1	5	1
2 - 5	0,1	4	2
1 - 2	0,1	congiungere con un corto filo i due reafori.	

Vedremo in seguito come questi ondametri possano usarsi in misure accurate di laboratorio (v. parte 5ª). Nella pratica comune di ricezione, essendo i ricevitori generalmente a reazione, si usa il metodo di assortimento (pag. 249) per determinare la risonanza, tenendo i circuiti il più possibile lontani uno dall' altro.

Nella trasmissione, si avvicina l'ondametro all' induttanza e si osserva l'amperometro d'antenna o il milliamperometro di placca che al punto di risonanza indicano un brusco cambiamento della corrente.

Una serie di questi campioni si dimostra di grande utilità anche in

un modesto laboratorio ed è relativamente economica non necessitando che l' acquisto dei condensatori variabili.

L' eterodina. — La precisione di misura di un ondametro propriamente detto è limitata dal decremento del circuito che lo compone e quindi dallo smorzamento delle oscillazioni in esso. È evidente allora la convenienza di usare onde persistenti e quindi l' ondametro eterodina che presenta anche il vantaggio di una facile taratura. La fig. 294, mostra come una lampada ionica qualsiasi può essere inserita per sostituire il vibratore dell' ondametro e realizzare così l' eterodina.

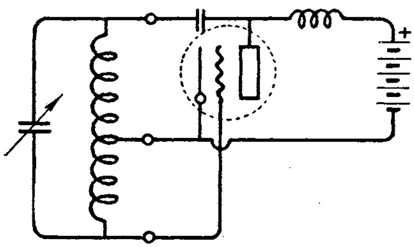


Fig. 294.

Anche in questo caso il condensatore deve essere perfetto e di una capacità non molto elevata se si desidera usare l' istrumento anche per onde molto corte. Occorre usare una lampada a vuoto molto spinto ed una batteria ad AT molto costante. Infatti, e massimamente, fino che non si arriva nei pressi della saturazione della lampada, la variazione della tensione placca variando l' impedenza di questa, varia anche il periodo di vibrazione del circuito. È quindi utile quando la tensione placca non supera i 40 volts di cercare di mantenerla sempre allo stesso valore.

È anche possibile fare funzionare la eterodina senza alcuna batteria di placca sfruttando soltanto il potenziale della batteria di accensione. Lo schema diventa così molto semplice (fig. 295) e, a seconda del tipo di lampada adottato, l' energia oscillante più o meno sufficiente per la misura. Tuttavia nel caso generale, è preferibile una vera e propria batteria placca che permette fra l' altro di aumentare la distanza fra l' eterodina e il circuito in esame evitando nocive influenze.

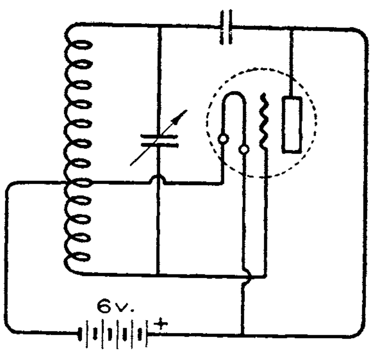


Fig. 295.

Per potere efficacemente sfruttare l'apparecchio costruito, è consigliabile improntare anche per questo una serie di bobine intercambiabili, le quali (in tutto analoghe a quelle già descritte), portano fra le due estreme una presa intermedia per il filamento. Questa presa si fa generalmente

un poco dissimetrica rispetto agli estremi e preferibilmente un pò più verso la « griglia ».

Se è possibile procurarsi una lampada a consumo ridotto tutto l'istrumento può essere racchiuso in una sola cassetta con grande vantaggio sia per la costanza di taratura che per la facilità di trasporto. L'ingegnosità e il buon senso del costruttore troveranno poi, volta per volta la migliore sistemazione.

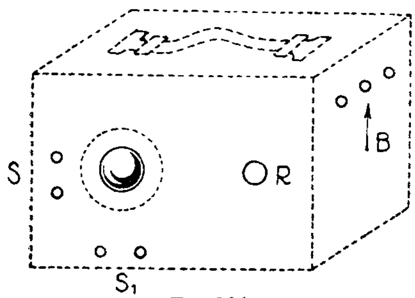


Fig. 296.

Per la costruzione possiamo in massima riferirci a quella dell'ondametro utilizzando una cassetta pressochè identica che porti sul davanti la solita placca isolante e che sia apribile dal lato posteriore (fig. 296).

Sul davanti la manovra del condensatore e del reostato d'accensione nonchè i soliti serrafili *SS'* in serie e parallelo sulla self e sul condensatore. Sul fianco le spine che debbono ricevere le induttanze e nell'interno le batterie e, se possibile, anche la lampada. È indispensabile, specialmente con onde corte, che il condensatore sia munito di verniero e manovrabile a distanza; un'ottima idea sarebbe quella di fare la placca anteriore della cassetta completamente metallica.

Riguardo alla serie delle bobine può servire la tabella, che evidentemente non può dare valori assoluti, in questo caso specialmente, dove tanti altri fattori oltre a quelli del circuito oscillante vero e proprio possono determinare variazioni impreviste. Occorre cercare che le bobine possano ampiamente « sovrapporsi » in modo da localizzare le letture nella parte centrale del condensatore essendo le variazioni al principio molto rapide.

Lunghezza d'onda	Spire δ 8 cm.
m. 10 — 20	6
» 15 — 30	10
» 25 — 50	15
» 45 — 100	25
» 90 — 200	50
» 180 — 400	70
» 350 — 700	100

La capacità, specialmente se si dispone di un buon verniero, può giungere fino a 1 millesimo per onde superiori ai 200 metri ma è buona cosa portarla a un quarto per la gamma inferiore. Come al solito le connessioni sono rigide e ben distribuite.

La taratura dell'eterodina. — Come si disse il grande vantaggio dell'eterodina consiste nel potere essere tarata perfettamente per tutta la gamma delle usuali lunghezze d'onda *col sussidio di un'unica onda campione.*

Si sfrutta per questo una proprietà caratteristica dell' audion oscillatore (vedi pag. 217) di emettere cioè assieme alla principale, una numerosissima serie di oscillazioni secondarie in rapporto semplice colla prima, cioè delle armoniche.

Quindi se la nostra eterodina oscilla su un' onda λ_0 emetterà anche onde λ_1 λ_2 λ_3 ecc. e onde $\frac{\lambda}{1}$ $\frac{\lambda}{2}$ $\frac{\lambda}{3}$ ecc. Praticamente ciò non si verifica con estrema rigorosità; cioè le varie armoniche non sono esattissimi multipli o sottomultipli dalla fondamentale ma presentano rispetto a questi piccole irregolarità. Sebbene nella 5ª parte vedremo come rimediare a questo difetto, è da ricordare qui che queste differenze sono così esigue da non danneggiare le misure e la taratura stessa considerata per usi pratici e correnti. In ogni modo per rendere anche questa percentuale d' errore la più piccola possibile è consigliabile non usare per ogni fondamentale determinata, più di tre o quattro armoniche.

Per effettuare la taratura ci occorre un ricevitore che possa facilmente oscillare in tutta la gamma in esame. Accordiamo ora questo su una onda di lunghezza conosciuta e ben determinata.

Supponiamola per esempio di 1200 metri. Variamo l' accordo fino ad ottenere il silenzio fra le due bande di battimenti cioè fino a raggiungere la perfetta sintonia fra le oscillazioni incidenti e quelle locali. Mettiamo in azione l' eterodina e inserendo una bobina che possa agire fra 400 e 1200 metri variamo il condensatore.

Udremo al principio della scala tanti piccoli fischi molto vicini e di piccola intensità poi un fischio isolato molto potente. Questo fischio è determinato dall' interferenza delle oscillazioni del ricevitore con quelle che genera l' eterodina e che differiscono pochissimo da quelle. Con una piccola variazione troveremo ancora la zona di silenzio. In questa posizione a differenza delle tante altre incontrate nel nostro movimento del condensatore, la zona di silenzio è più ampia, perchè l' oscillazione fondamentale, essendo potente, obbliga il ricevitore alla risonanza in una zona notevole di frequenze. Per trovare il perfetto punto di risonanza basta allontanare o schermare l' eterodina, in modo che le oscillazioni di questa influiscano meno sul ricevitore.

Possiamo ora marcare un primo punto di riferimento sulla scala del nostro apparecchio di misura (1200 metri).

Senza toccare il ricevitore diminuiamo il condensatore dell' eterodina fino a portarci nella zona di silenzio fra le due bande di un secondo fischio naturalmente più debole del primo (la prima armonica).

Ecco un secondo punto di riferimento (nel nostro caso 600 metri).

Continuando alla stessa guisa troveremo altre armoniche via via più frequenti, più deboli e confuse.

Come si è già detto ci si fermerà alla terza o alla quarta. A questo punto *senza toccare l' eterodina* si ricerca *col ricevitore* l' onda fondamentale emessa da questa (tre o quattro volte inferiore p. e. 400 metri). *Lasciando quindi fisso il ricevitore* e cambiata induttanza all' eterodina si trovano alla stessa guisa di prima altre 3-4 armoniche.

Così procedendo si hanno in breve un gran numero di punti noti, che portati al solito, su carta millimetrata assieme ai gradi del condensatore, ci forniscono le curve di taratura di tutte le bobine. Ripetendo poi per ognuno di questi punti l' operazione descritta ne potremo ottenere tanti altri quanti ne desideriamo. La figura 297 mostra un tipo di curva ottenuto in questo modo.

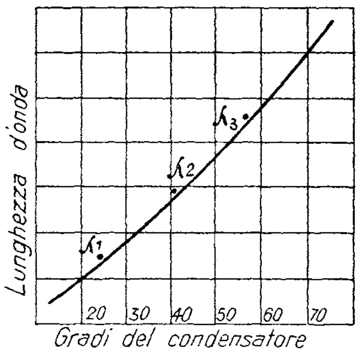


Fig. 297.

È evidente che invece di usare le armoniche inferiori è possibile usare quelle superiori estendendo anche nell' altro senso la scala dell' eterodina. Così che con la nostra onda originale di 1200 metri sarebbe possibile ottenere in poche operazioni, col procedimento della tabella, tutte le derivate indicate.

Dalla fondamentale	1200	si deriva	600 -	400 -	300		
dalla derivata . . .	600	»	300 -	200 -	150 -	120 -	100
»	400	»	200 -	133 -	100 -	80 -	66
»	300	»	150 -	100 -	75 -	60 -	50 ecc.

Dalla fondamentale	1200	si deriva	2400 -	3600 -	4800
dalla derivata . . .	2400	»	4800 -	7200 -	9600
»	3600	»	7200 -	10800 -	14400
»	4800	»	9600 -	14400 -	19200

È inutile raccomandare la buona manutenzione delle bobine per evitare mutamenti nella taratura dell' istrumento.

Uso contemporaneo dell' eterodina e dell' ondametro. — Ondametro propriamente detto ed eterodina posseggono distinti pregi e svantaggi. Senza considerare i secondi, ricorderemo rispettivamente il pregio della costanza di taratura del primo e quello dell' acutezza di sintonia del secondo.

Sarebbe quindi ideale escogitare un sistema che presentasse ad un tempo queste buone qualità.

Si sono fatte ultimamente riuscite prove con oscillatori a quarzo con risultati molto buoni ma collo svantaggio di richiedere un cristallo apposito per ogni determinata frequenza (v. parte 4ª).

Allo stato attuale della tecnica è impossibile racchiudere in un solo istrumento i pregi dell'ondametro e quelli dell'eterodina. Si è allora ricorso all'uso contemporaneo di questi due.

Il sistema, molto semplice, che sto per descrivere può dare una buona approssimazione del 0.5 per cento sulla frequenza in esame comprendendo in questa percentuale tutte le possibili fonti d'errore sia nell'emissione che nella misura stessa.

Il procedimento è elementare: il ricevitore è da prima accordato perfettamente coll'emissione desiderata; quindi l'eterodina (*che si trova a notevole distanza* dal primo) è portata a risuonare con esso ed infine l'ondametro (*che deve a sua volta essere distante dall'eterodina*) viene accordato con questa. Abbiamo così tre traslazioni quindi è necessaria una maggiore accuratezza per evitare l'aumentata probabilità d'errore.

Tutto il procedimento è facile eccettuato l'ultimo quesito: che cioè l'ondametro deve portarsi alla risonanza con l'eterodina *rimanendo distante da questa*. Ora, data l'esigua potenza dell'eterodina stessa, nessuno degli istrumenti indicatori usuali potrebbe mostrarci il punto di risonanza a meno di non ricorrere a costosissimi e delicati apparecchi.

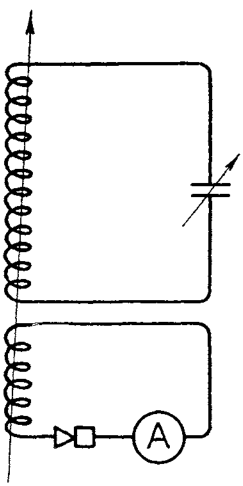


Fig. 298.

Si è escogitato allora un metodo abbastanza facile a realizzare. Un comune cristallo, molto sensibile, raddrizza l'emissione dell'eterodina nel circuito dell'ondametro in modo da potere fare deviare un milliamperometro a bobina mobile o un galvanometro. Per non introdurre nel circuito oscillante l'alta resistenza del cristallo, si accoppia semplicemente il circuito indicatore a quello principale come è indicato nella fig. 298.

Praticamente si avvicina una bobina di qualche spira a questo circuito e per aumentare la sensibilità si può portare un estremo della bobina stessa a far capo ad una lamina affacciata al condensatore variabile dell'ondametro.

È utile collegare metallicamente i due circuiti come è indicato in *B*. Questo per diminuire il più possibile il numero delle spire di *B* e quindi

la sua influenza sul circuito principale; però nel caso riesca difficile far ciò, la placca in *A* può essere tralasciata aumentando sufficientemente le spire di *B* (fig. 299) che si trovano tuttavia per tentativi fino ad avere la giusta deviazione del galvanometro.

Praticamente, con un' eterodina di debole potenza, 2 o 3 spire dello stesso diametro delle altre, poste a 4/5 centimetri di distanza rispondono ottimamente se la scala massima dell'.istrumento non supera il milliampere o al massimo i due.

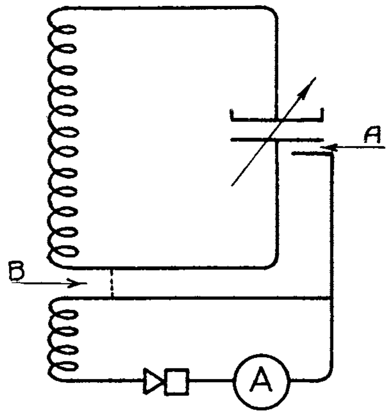


Fig. 299.

È molto importante che la bobina B *sia assolutamente fissa.* Per la misura, una volta accordata l' eterodina, si avvicina a questa l' ondametro fino ad ottenere, variando l' accordo, la deviazione del galvanometro, quindi ci si allontana gradualmente e si trova la risonanza utilizzando la minima deviazione dell' indicatore stesso.

Con lo stesso istrumento è possibile misurare con grande precisione l' onda di un trasmettitore locale anche a distanza relativamente grande.

Bisogna anzi stare attenti che durante gli accordi di questo non ci si porti in risonanza coll' ondametro eventualmente vicino, per non rovinare il galvanometro.

PARTE QUARTA

CAPITOLO I.

LE ONDE CORTE

Le prime onde corte. — Se ricerchiamo l'origine della trasmissione elettromagnetica usante frequenze elevatissime, cioè *onde corte*, campo che oggi sommamente interessa le Nazioni civili, dovremo risalire, con giustificata meraviglia, molto addietro nella storia della radiotelegrafia e raggiungerne anzi i primi albori. Infatti le prime onde elettromagnetiche rivelate dall'uomo, furono senza dubbio quelle dovute alle scintille d'*extracorrente* nei comuni circuiti induttivi, onde naturalmente corte come oggi si prova con facilità considerando che i disturbi dovuti a simili scintille (magneti e campanelli per esempio) influenzano i nostri ricevitori in grado massimo fra i 10 e i 50 metri di lunghezza d'onda ([1]).

Fu il 20 febbraio 1880 che l'americano Hugues alla presenza di alcuni membri della *Royal Society* eseguì esperienze usando onde elettriche, dimostrando che « una corrente intermittente in un rocchetto » produceva ad ogni sua interruzione delle extracorrenti così intense che » l'intera atmosfera nell'ambiente come pure in ambienti lontani riceveva » una carica istantanea invisibile, la quale si rendeva manifesta adope- » rando come ricevitore un giunto microfonico assieme ad un telefono ».

E per continuare con le sue parole è interessante notare che: » impulsi particolarmente improvvisi, sia che venissero emessi nell'atmo- » sfera per mezzo dell'extracorrente di un rocchetto, oppure per mezzo » di una macchina a strofinamento, agivano nello stesso modo sul con- » tatto microfonico....

» Così una scintilla ottenuta strofinando un pezzo di ceralacca, aveva » la stessa efficacia della scarica di una bottiglia di Leida dello stesso » potenziale.

» Tanto la ceralacca quanto la bottiglia di Leida erano senza effetto, » sinchè esse non venivano scaricate con una scintilla, ed era evidente » che questa scintilla per quanto debole, agiva su tutta l'atmosfera » ambiente sotto forma di *onde o raggi invisibili*....

([1]) Vedi: Righi e Dessau - *Telegrafia senza filo*, 1903, pag. 336 e seg.

» Il trasmettitore e il ricevitore si trovavano in ambienti differenti, » distanti circa 60 piedi uno dall'altro. Dopo aver provato con successo » tutte le distanze possibili nella mia abitazione Portland Street, il mio » metodo usuale era di mettere in opera il trasmettitore e di camminare » su e giù per la via di Great Portland Street, col mio ricevitore in » mano e col telefono all'orecchio.... Alla distanza di 500 yards non » potevo più udire con certezza i segnali trasmessi ».

La priorità dell'idea di usare una perturbazione dell'etere analoga a quella luminosa (e quindi onde e. m.) per comunicare a distanza sembra doversi attribuire all'italiano Panzilli, il quale così pubblicava nel 1858:

« Epperò se l'etere sotto forma di luce viene pingere un immagine » sulla nostra retina.... per le ignote strade magnetiche viene da se a » regolare le nostre bussole nautiche e fedelmente insegnarci la sicura » via del Polo, non potremmo noi avere una ragionevole speranza che lo » stesso etere ancora da se venisse e senza esservi condotto dal ferreo » vincolo di un conduttore ad animare una macchinetta telegrafica onde » favorirne coll'officio suo nelle corrispondenze nostre per mezzo del- » l'elettricità? Insomma ove io qui mi facessi modestamente a dire di » una qualche probabilità che aver si potrebbe per una corrispondenza » telegrafica elettrica *senza filo alcuno* forse farei ridere li molti che in » queste cose sono Maestri miei, ma sono certo di non trovar più di » uno fra questi miei Maestri, che formular potesse una dimostrazione » senza replica, di aver io proferto un'assurdità.... Ma come io ho » tentato una proposta così di tentare ardir voglio una mia particolare » spiega.

» E questa mia, qualunque essere si voglia spiega, del fenomeno di » una manifestazione elettrica, precisa, destata e trasmessa da acconcio » ma ora ignoto Reomotore e ricevuta e mantenuta da altro Reomotore » consimile collocato *forse anche agli antipodi del primo* questa mia » spiega sarebbe nella ipotesi di una generale istantanea commozione » che si manifestasse in tutta la massa dell'atmosfera elettrica che riveste » la terra, commozione che comunicar si potesse a tutti i Reomotori » adatti a risentirla *e che ritenuta esser potesse solo da quelli, che già » si farebbero predisposti a ritenerla* ».

Molti anni più tardi (1° febbraio 1892) il celebre fisico inglese William Crooke scriveva:

« Se delle onde eteree più lunghe, quali l'occhio non percepisce » agiscano continuamente attorno a noi, fino a poco tempo fa non fu » mai esaminato seriamente. Ora però le ricerche di Lodge in Inghil-

» terra e di Hertz in Germania ci rivelano un'abbondanza quasi illimi-
» tata di fenomeni eterei o raggi elettrici, le lunghezze d'onda dei quali
» variano da migliaia di miglia a pochi piedi.

» Qui si apre davanti a noi un mondo nuovo, stupefacente, del quale
» difficilmente possiamo credere che esso non contenga la possibilità di
» una trasmissione del pensiero.

» I raggi luminosi non penetrano attraverso un muro e nemmeno, come
» purtroppo sappiamo attraverso ad una nebbia londinese. Ma delle onde
» elettriche di un metro e poco più di lunghezza passeranno facilmente
» attraverso a queste sostanze, le quali per loro saranno trasparenti.

» Si presenta così l'attraente possibilità di una telegrafia senza fili.
» senza pali, senza cavi, senza tutti gli accessori costosi....

» .... Due amici, i quali si trovino entro i limiti di reazione dei
» loro ricevitori, potrebbero, accordando i loro apparecchi a lunghezze
» d'onda particolari, comunicare fra loro quando loro piacesse, coi segni
» dell'alfabeto Morse, trasmessi mediante radiazioni di maggiore o di
» minore durata.

» A prima vista, contro questo progetto si potrebbe obiettare l'im-
» possibilità di tenere segrete le comunicazioni....; ciò si potrebbe
» evitare in due modi. Ove le disposizioni del trasmettitore e del rice-
» vitore fossero determinate con precisione, si potrebbero più o meno
» sicuramente *concentrare i raggi sul ricevitore*. Nel caso invece che il
» trasmettitore e il ricevitore essendo mobili, non fosse possibile l'uso
» di *lenti*, i due corrispondenti dovrebbero accordare i loro apparecchi
» su una stessa lunghezza d'onda, *per esempio 50 metri*.

» Suppongo che nuove scoperte abbiano fornito degli apparecchi, i
» quali muovendo una vite, oppure facendo variare la lunghezza di un
» filo, si possano regolare in modo da renderli adatti a ricevere delle
» onde di lunghezza stabilita.

» Ove siano regolati per esempio per 50 metri, il ricevitore racco-
» glierà soltanto delle onde la cui lunghezza sia compresa fra 45 e
» 55 metri, mentre per tutte le altre sarà insensibile.

» Pensando che si dispone di un gran numero di vibrazioni da pochi
» piedi fino a migliaia di miglia, il segreto appare realizzabile, giacchè
» un curioso, per quanto instancabile, certamente rifugirebbe innanzi al
» compito di tentare tutti i milioni di lunghezze d'onda possibili per
» incontrare finalmente e per caso, quella della quale si servono coloro
» i cui segreti vorrebbe scoprire.

» Mediante segnali convenuti si potrebbe escludere infine anche
» questa possibilità ».

Nel 1888 che Hertz riuscì per la prima volta a produrre *consciamente* onde elettromagnetiche e a dimostrarne vari punti di contatto con quelle luminose.

Così esperimentando con onde di 9 *metri* ed usando un riflettore di forma parabolica nel fuoco del quale si trovava l'oscillatore, riuscì per la prima volta ad inviare in una direzione determinata le onde e. m. E fu pure con onde di nove metri che il grande fisico tedesco riuscì a scoprire nel nuovo campo i fenomeni della *rifrazione* e dell'*interferenza* (v. pag. 41).

Ma noi dobbiamo attribuire, con orgoglio, al nostro Righi, il titolo di precursore nella storia delle onde corte.

Egli infatti escogitando ingegnosi dispositivi e specialmente coll'uso del suo *oscillatore speciale* (che ancor oggi, se pur modificato da altri, si dimostra come l'unico a produrre le onde e. m. più corte) discese dai pochi metri dell'Hertz, ai centimetri e ai millimetri, fermamente convinto che col diminuire della lunghezza d'onda si ottenessero risultati più notevoli. Ciò è chiaramente espresso nelle poche righe seguenti stralciate dalla nota sulle « *Oscillazioni elettriche di piccola lunghezza d'onda* » presentata all'Accademia dei Lincei il 30 aprile 1893:

« Sono giunto ad ottenere delle oscillazioni, la cui lunghezza di » onda è molto più piccola di quella delle oscillazioni finora ottenute dai » fisici.

» Con questi apparecchi *a breve lunghezza d'onda*, la distanza alla » quale possono trovarsi uno dall'altro il risonatore e l'oscillatore, senza » che cessino nel primo le scintille è relativamente considerevole. Infatti » con risonatore e oscillatore senza riflettori le scintille nel risonatore » sono visibili sino a quasi un metro di distanza.... Con apparecchi » un poco più grandi che forniscono oscillazioni di lunghezza d'onda » di 20 centimetri, si vede la scintilla fino ad oltre tre metri di distanza, » munendo l'oscillatore di riflettore le scintille si veggono fino a 7 metri » di distanza e se, anche il risonatore ha lo specchio parabolico, esso » mostra scintille nettamente visibili anche stando a 25 metri dall'oscil- » latore ».

Da questo brevissimo accenno appare chiaramente non solo, il particolare comportamento del radiatore nei riguardi della frequenza della corrente oscillante, ma anche in particolar modo l'enorme convenienza di riflettori adatti sia al ricevitore che al trasmettitore, convenienza che soltanto oggi dopo oltre 30 anni è stata praticamente sfruttata col « *nuovo* » avvento delle onde corte.

Le onde lunghe. — Nel 1889 il Lodge usando onde di 29 m. riuscì a notarne gli effetti a distanza relativamente grande se pur nello ambito del suo laboratorio.

Guglielmo Marconi nelle sue prime esperienze usò onde di circa 25 centimetri, ma ben presto Egli si accorse che le dimensioni geometriche dell'oscillatore influivano non poco sulla distanza che si poteva varcare. Di qui la sostituzione delle primitive sferette con ampie lastre appese in alto e all'esterno e successivamente con fili sempre più lunghi e sviluppati.

Nel 1897 basandosi su esperienze a breve distanza (13 km.) stabiliva una delle prime leggi della pratica radioelettrica affermando che a parità di condizioni *la portata è proporzionale al quadrato della altezza d'aereo.*

Di qui l'interesse di crescere sempre più l'altezza d'aereo e quindi la lunghezza d'onda.

Nel 1900 Egli decise di tentare una prova di radiotelegrafia transatlantica ed affidò al Fleming il progetto di una grande stazione da installarsi a Poldhu, la quale potesse irradiare dai 10 ai 25 chilowatts con un' antenna molto sviluppata e quindi su onde relativamente lunghe.

La trasmissione transatlantica che ci appare oggi così comune e semplice cosa, rappresentava nei primordi della tecnica radioelettrica l'argomento più dibattuto e discusso, specialmente perchè si riteneva che la curvatura della terra costituisse un formidabile ostacolo alla trasmissione senza fili a grande distanza.

È interessante notare come si esprimeva al riguardo un illustre elettricista francese nel 1899:

« È un torto, a mio umile parere, avere dato a queste esperienze » il nome di *telegrafia senza fili.*

» Quando oggi si pronuncia la parola telegrafia senza fili, lo spirito » si riporta subito a questa meravigliosa applicazione dell'elettricità, che » permette il trasporto del pensiero da una riva all'altra degli oceani.

» Ebbene! è difficile rappresentarsi un telegrafo senza fili fra Brest » e New York o fra San Francisco e Yokohama....

» .... Occorrerebbe allora per non attraversare che l'aria interposta » fra l'Europa e l'America, sistemare dei semafori di una altezza così » considerevole che sarebbe più economico un cavo transatlantico.... ».

Ma il 12 dicembre 1901, fra le nevi della *Terra Nuova*, Marconi riceveva con sicurezza i segnali convenuti trasmessi da Poldhu, provando la possibilità delle comunicazioni a grande distanza ed aprendo

la via all' incessante ricerca delle particolarità della propagazione hertziana che ancor oggi appassiona il mondo dei tecnici.

Le esperienze intraprese sfruttarono generalmente onde lunghe se si eccettua qualche studio sulla propagazione a breve distanza come ad esempio quello intrapreso nel 1905 dal *Duddel* e dal *Taylor* su onde di 114, 122 e 152 metri dal quale principalmente si dedusse che la intensità dei segnali era proporzionale all' altezza d' aereo.

Però una importante particolarità era stata scoperta dal Marconi fino dal 1902 durante le sue crociere a bordo della *Philadelphia* prima, e della *Carlo Alberto* di poi: l' influenza nociva cioè, che la luce esercitava sulle comunicazioni a distanza, attribuita in un primo tempo ed erroneamente ad un effetto diretto del sole sulle cariche elettriche della antenna radiante. Da quell' epoca si tennero presenti negli studi e nelle costruzioni radioelettriche le particolarità della propagazione *diurna* e di quella *notturna*, basandosi principalmente sui seguenti dati ottenuti esperimentalmente:

— La differenza fra giorno e notte comincia soltanto a notarsi quando la distanza che separa il ricevitore dal trasmettitore è di parecchie centinaia di miglia (Marconi 1902).

— *La differenza fra le condizioni diurne e quelle notturne, è tanto più notevole quanto più corta è la lunghezza d' onda* (Round 1905).

— Usando onde molto lunghe (oltre i 5000 metri) si arriva spesso a invertire le condizioni di esperienza e ad ottenere segnali diurni più intensi di quelli notturni (Marconi 1909).

Da questi risulta ben chiara la convenienza di usare onde lunghe il più possibile per comunicare a grande distanza, convenienza che ricevette un ulteriore conferma nel 1910 quando l' Austin e il Cohen per conto della Marina Americana eseguirono una serie di esperienze, sul mare in special modo, e racchiusero i loro risultati in una formula empirica ormai famosa nella storia della radiotelegrafia: *la formula di Austin-Cohen.*

Distanze in km.	Lunghezze d' onda in m
700	275
1000	562
1500	1260
2000	2280
3000	5070
4000	9000
5000	14050
6000	20250
8000	36000
10000	56250

Esaminare particolarmente questa espressione non ci può qui interessare: il suo essenziale significato può tuttavia racchiudersi nello specchietto di contro che prova come soltanto col crescere della lunghezza d' onda sarebbe stato possibile varcare grandi distanze.

Sebbene vari scienziati e principalmente il prof. Gian Carlo Vallauri

dell' Istituto Radiotelegrafico di Livorno riuscirono esperimentalmente a trovare notevolissime differenze fra i valori del campo elettromagnetico misurato a grande distanza dal radiatore e quelli dedotti dall'espressione dell'Austin, tuttavia quest'ultima fu lungamente considerata come base nel calcolo delle grandi stazioni radiotelegrafiche.

A questa formula, alle molteplici altre derivate e al grande numero di dati esperimentali e concordi ottenuti nelle condizioni più variate, dobbiamo la tendenza dei tecnici ad adottare onde sempre più lunghe.

Infatti la tecnica radio-elettrica di alcuni anni or sono poteva con sicurezza affermare, basandosi sulle sue conquiste teoriche e pratiche, che:

Il rendimento radiotelegrafico (1) *cresce costantemente con la lunghezza d'onda e in modo tanto più notevole, quanto più grande è la distanza che separa il radiatore dal ricevitore* (2).

Così, rapidamente si sviluppò la nuova tecnica permettendo all'uomo di raggiungere distanze sempre maggiori, finchè nel 1918, con i primi rapporti di ricezione dagli *antipodi*, parve prossimo il limite dell'efficienza.

Le grandi stazioni di trasmissione avevano infatti raggiunto un sì alto grado di perfezione che potevano ormai paragonarsi a comuni centrali elettriche con lo scopo di irradiare energia nello spazio anzichè distribuirla agli utenti a mezzo di fili.

Si tendeva allora all'uso di onde di 30 chilometri e la cosa appariva abbastanza difficoltosa per le altissime torri e per il lungo sviluppo di conduttori necessario ad ottenere un rendimento commerciale.

Raggiunti i 23 chilometri con la stazione di Bordeaux sistemata sulle rive dell'Atlantico, i risultati e le esperienze realizzate con questa fecero apparire come non oltremodo necessario un successivo aumento di lunghezza d'onda specialmente pensando che con onde dell'ordine dei 10 chilometri e con potenze dai 500 ai 1000 cavalli tutte le distanze terrestri potevano essere varcate.

Recentemente (1922) durante una serie di esperienze a grande distanza su onde di 40, 23 e 18 chilometri rispettivamente la ricezione fu impossibile con le prime, debole ed inefficace con le seconde e ottima con le ultime.

(1) Il rendimento radiotelegrafico può definirsi come il rapporto fra la potenza captata al ricevitore e quella irradiata al trasmettitore.

(2) Fin dal 1912 si proposero stazioni radiotelegrafiche usanti antenne che potessero vibrare su fondamentali di oltre 100 km. irradiando onde lunghe centinaia di chilometri. A questo periodo ne subentrò un altro tendente a svalutare la convenienza di onde lunghissime; ma negli anni del dopo guerra le prime idee furono ancora discusse e sostenute con entusiasmo dalla maggioranza dei tecnici.

Ciò starebbe a provare assieme a numerosi altri risultati esperimentali che *la massima lunghezza d'onda capace di dare un buon risultato di distanza non deve superare i 20 chilometri* [1].

Raggiunto in questo modo il *limite superiore* o per lo meno il limite imposto dalle nostre possibilità pratiche ed economiche, non restava che cercare quello *inferiore.*

A parte le notevoli differenze nelle particolarità di propagazione che si notavano col diminuire della lunghezza d'onda, differenze che in seguito esamineremo, l'esperienza e la teoria erano in questo caso d'accordo a stabilire che: *una lunghezza d'onda dell'ordine dei 200-300 metri rappresentava il limite della gamma hertziana utilizzabile per comunicare a distanza* oltre il quale nessun collegamento senza fili avrebbe potuto essere realizzato.

Ciò si spiegava principalmente come cagione dell'assorbimento da parte del suolo e della insufficiente diffrazione, fatti questi tanto più notevoli e nocivi quanto più la lunghezza d'onda sarebbe stata diminuita.

Ritorno alle onde corte. — Questa sicurezza dei tecnici sulla inefficienza delle onde corte nella trasmissione a distanza, sicurezza come abbiamo veduto spiegabilissima e ben basata, contribuì non poco ad occultarci per molto tempo, le particolari caratteristiche del nuovo campo.

E forse molto tempo ancora sarebbe trascorso se non fosse esistita la singolare proprietà che lega la vibrazione hertziana a quella luminosa : *la riflessione.*

La riflessione di onde e. m. che dopo gli studi di Hertz e del Righi, fu primieramente adottata da Marconi, per scopi militari e specialmente per mantenere il segreto delle comunicazioni, richiedeva onde corte per essere praticamente realizzata affinchè le dimensioni del riflettore non risultassero eccessive.

Onde corte per usi pratici di trasmissione a distanza mediante riflettori furono riadoperate dal Brown e dal De Forest fin dal 1902 senza però che il successo delle esperienze facesse nascere fondate speranze di applicazione.

Marconi negli anni 1916-1917 eseguì esperienze con onde smorzate di 3 metri sino a 10-30 chilometri, mentre il Franklin negli anni del dopo guerra riusciva con onde di 15 metri a raggiungere i 100 chilometri.

Ma è facile convincersi, e ancor meglio in seguito ci si accorgerà, che queste esperienze e le numerose altre che è impossibile elencare,

(1) Ciò non esclude tuttavia che usando onde straordinariamente lunghe e *sistemi irradianti di dimensioni adatte*, si potessero ottenere risultati analoghi o superiori.

tendenti tutte ad applicare la radio telegrafia direzionale a breve distanza, fossero ben lungi dall' indirizzare il lavoro dei tecnici verso lo studio della gamma compresa fra le onde più corte usate nella pratica radioelettrica (300-250 m.) e quelle cortissime usate nella radio riflessione (3-10 m.).

Questo studio ebbe il suo inizio esperimentale negli Stati Uniti di America poco prima della guerra europea, quando cioè lo Stato permise a privati l' uso di trasmettitori di potenza ridotta, *con l' obbligo di usare onde inferiori ai 200 metri di lunghezza.*

Le stazioni che riuscivano a varcare qualche decina di chilometri, usando potenza ridotta e onde corte, si ritenevano a quell' epoca come molto efficienti, nè a modificare questa opinione, valevano casi di comunicazione a grande e spesso grandissima distanza, che si verificarono in determinate ore della notte e durante stagioni propizie, specialmente dopo l' avvento dei ricevitori a valvola.

Questi casi, che nei primi anni del dopo guerra, andarono via via aumentando, non potevano essere spiegati su sufficienti basi teoriche ed esperimentali e si attribuivano quindi all' insieme di un gran numero di favorevoli e fortunate condizioni.

Le comunicazioni vennero quindi denominate « *freak transmissions* » cioè « trasmissioni capricciose ».

Ma oltre alla irregolarità della trasmissione esisteva anche quella della ricezione (*freak reception*). Infatti anche a distanza molto ridotta dal trasmettitore accadeva quasi sempre di notare una periodica ed irregolare variazione nell' intensità dei segnali; nel corso cioè di una ricezione perfetta l' intensità pur anche fortissima andava diminuendo rapidamente fino ad annullarsi addirittura in un tempo variabile fra una frazione di secondo e qualche secondo per ritornare massima e quindi ancora capricciosamente annullarsi, a brevi o a lunghi intervalli senza seguire alcuna legge di variazione.

Il fenomeno, sull' essenza del quale ancor oggi si studia, fu chiamato col nome inglese di « *fading* » o *evanescenza* » e i suoi effetti erano così preponderanti nella trasmissione a distanza con onde corte, da rendere impossibile un vero e proprio traffico commerciale.

Tuttavia nell' inverno del 1920 si organizzò una prova transatlantica fra l' America e l' Inghilterra usando onde dell' ordine di 200 metri e potenza minore del chilowatt.

Nel mondo tecnico si apprese con viva sorpresa che l' impresa era stata coronata da un successo che appariva tanto più notevole, pensando che fra le stazioni che erano riuscite a farsi udire in Inghilterra, alcune non disponevano che di qualche decina di watts.

E se era ben vero che per eseguire la prova occorsero operatori provetti, istrumenti sensibili, e condizioni favorevoli di località, clima, tempo ecc., era altrettanto vero che essa aveva provato che *le onde corte possono facilmente varcare grandi distanze, attenuandosi molto meno delle lunghe.*

La prova dell'anno successivo, organizzata con più metodo, permise a molte centinaia di stazioni americane di raggiungere l'Europa con onde di 200 metri dimostrando che la comunicazione transatlantica era estremamente facile ma riconfermando l'impossibilità di uno sfruttamento commerciale di questa, a cagione della sua irregolarità ed incostanza (1).

Nel 1923 si cominciò ad esperimentare con onde inferiori ai 200 metri, raggiungendo infine ed inconsciamente la gamma delle vere *onde corte* intese come capaci di raggiungere le massime distanze terrestri.

Esperimenti a distanza relativamente ridotta erano stati tuttavia tentati con successo in Inghilterra e in America fin dal 1920 (2).

Infatti il Round usando onde di 100 metri ad una potenza antenna di 1000 watts riuscì a comunicare nel 1921 fino a 1000 chilometri di distanza nelle ore notturne, notando molta regolarità nei segnali. In America durante il 1922 la Compagnia Westingouse notò che con onde di 100 metri i cosidetti « *punti morti* » dove la ricezione di onde dai 300 ai 600 metri era impossibile non esistevano su quelle di 100 e il Burau of Standards riuscì con una potenza relativamente ridotta a raggiungere i 400 chilometri senza che fosse possibile notare alcun effetto d'evanescenza nella ricezione.

Nell'aprile 1923 Guglielmo Marconi esperimentando col suo yacht *Elettra* riusciva a ricevere la stazione di Poldhu, usante 9 kw. antenna e riflettori (potenza efficace pari a 120 kw.) fino ad una distanza di circa 4 mila chilometri notando che la ricezione era ancor possibile riducendo a un decimo la potenza impiegata.

Nel giugno 1923 e nei mesi seguenti esperimentando con onde di 112 metri riuscivo personalmente a convincermi delle peculiari caratteristiche di queste, ottenendo coll'aiuto e appoggio del prof. O. Sassi una chiara ricezione in pieno mezzogiorno alla distanza di 350 chilometri con potenza inferiore ai 10 watts (3).

(1) Personalmente trovai molto difficoltosa ed incerta la ricezione transatlantica 1921 ma molto più positiva e regolare quella 1922 se pure essa fosse influenzata in modo notevolissimo dall'*evanescenza*. La differenza fra le due annate sta senza dubbio nel fatto che la sensibilità del ricevitore era stata aumentata.

(2) Nel fissare le date di precedenza nelle varie esperienze ho cercato di attenermi scrupolosamente a documenti originali in mio possesso, gentilmente favoritimi dagli interessati, ai quali resta quindi la responsabilità delle date stesse.

(3) Prima comunicazione *diurna* con onde corte e piccola potenza.

D' altra parte la ricezione a Bologna di una stazione del Genio militare francese che trasmetteva su 45 metri, dimostrò chiaramente la possibilità d' uso di onde ancora più corte per comunicare a distanza.

Ma la prova migliore della efficacia delle onde corte si ebbe nel novembre dello stesso anno quando il Deloy (francese) riuscì a comunicare regolarmente con lo Schnell (americano).

Il successo fu assicurato seguendo un rigoroso orario di prova, adottando lunghezze d' onda prestabilite ed una potenza dell' ordine del kw.

Il 21 gennaio 1924 ebbe luogo la prima comunicazione fra l' Italia e l' America con potenza variabile fra un ventesimo e un quinto di kw., realizzata dallo scrivente con l' uso di un sistema radiante particolare (v. parte 3ª) senza nessun avviso prestabilito e con un onda di 112 m.

Data l' imperfezione dei ricevitori usati in quell' epoca è interessante notare come la ricezione sulle coste americane dell' Atlantico fu possibile in altisonante mentre quella al centro del continente e perfino verso le coste del Pacifico fu riportata chiara e leggibile.

Nei mesi successivi il numero delle comunicazioni esperimentali fra l' Europa e l' America crebbe notevolmente, riconfermando la fondatezza delle prime esperienze, della regolarità cioè della trasmissione e della assoluta assenza del « *fading* ».

Le compagnie industriali indubbiamente indirizzate su una nuova strada dai risultati ottenuti in ogni paese con potenze così esigue, cercarono subito di sfruttare commercialmente il nuovo campo, usando potenze dai 20 ai 50 kws. ed onde dai 60 ai 100 metri.

In Europa, la Compagnia Marconi usando onde di 95 metri ed una trentina di kws. riuscì l' 11 aprile 1924 ad inviare segnali telefonici intelligibili fino agli antipodi realizzando la prima comunicazione telefonica a tale distanza.

In America, la Westingouse usando potenze e onde analoghe riusciva a mandare regolarmente in Europa le sue emissioni radiofoniche che venivano così bene ricevute da potere esser ritrasmesse di nuovo permettendo di seguire le emissioni americane con apparecchi molto semplici.

Senza particolarmente ricordare i felici impianti di stazioni radiotelegrafiche ad onde corte (dell' ordine di 100 metri) di notevole potenza eseguiti in America, Francia ed Inghilterra durante il 1924 a scopo esclusivamente commerciale, nè le numerosissime ed utilissime esperienze con esigua potenza da parte di molti studiosi e dilettanti di ogni paese, esperienze che contribuirono non poco e *spesso principalmente* ad ottenere dati pratici e definitivi, è all' America, all' Italia e alla Germania

che si devono le prime sistematiche esperienze con potenza di poco superiore al kw., svolte principalmente per studiare le caratteristiche del nuovo sistema.

La Marina degli Stati Uniti per opera principalmente del Dr. Taylor del *Naval Researk Laboratory* di Washington (v. anche in fine cap.) svolse una lunga ed interessante serie di prove su onde dai 50 ai 100 m. rivolte principalmente al perfezionamento del sistema generatore delle oscillazioni nei riguardi della stabilità d'onda e della nota; vennero allora scartati i sistemi generatori con autoeccitazione adottando quelli ad oscillazione forzata e sfruttando in seguito per mantenere una rigorosa costanza nella frequenza generata le proprietà oscillatrici delle lamine di quarzo (v. cap. 6°).

Nell'aprile del 1924, benevolmente appoggiato dall'ammiraglio Bonaldi e dal comandante Alessio, chi scrive presentò al Ministero della Marina un progetto di esperienze con onde corte (corredato dei relativi dati sui trasmettitori e ricevitori necessari) da effettuarsi durante la campagna oceanica nell'America latina di due incrociatori italiani.

Dopo un periodo di preliminari esperienze la cosa fu possibile per l'interessamento personale di S. M. il Re e del ministro della Marina, ammiraglio Thaon di Revel, così che il 1° luglio 1924 si lasciò Napoli muniti di un trasmettitore esperimentale destinato ad assicurare il collegamento con un analogo gruppo sistemato a Roma. Scopo degli impianti era di permettere una serie di esperienze e di studi relativi alle varie condizioni di clima, stagione, latitudine nei riguardi della propagazione delle onde corte.

Le esperienze furono condotte con un gruppo oscillatore di un kw. ed onda di 100 metri, le maggiori difficoltà da superare essendo l'instabilità d'onda dovuta al rollio della nave ed il forte assorbimento da parte delle masse metalliche.

Ambedue furono risolte usando il sistema radiante della figura 265 (un lato del quale era costituito dall'albero stesso della nave); che presentava una resistenza molto piccola.

Sebbene l'oscillatore fosse auto-eccitato non fu mai notata la minima variazione d'onda anche quando il rollio era molto accentuato (oltre 25°). L'eccitazione separata fu esperimentata pure con successo ma non adottata per difficoltà locali.

Un ricevitore con raddrizzatore a reazione quasi sempre usato si prestò ottimamente finchè i disturbi atmosferici si mantennero su una intensità media, mentre durante il passaggio del tropico e dell'equatore si presentò completamente inadatto alla ricezione.

Fu accertato come in questo caso convenga una trasmissione ben modulata (nota dai 150 ai 250 periodi) affinchè possa essere ricevuta senza l'aiuto di oscillazioni locali, ma bensì a ricevitore disinnescato. In questo caso l'intensità relativa del segnale è maggiore essendo quella dei disturbi molto più bassa. A questo proposito il ricevitore a cambiamento intermedio di frequenza (super-eterodina) si presentò come ideale non richiedendo un secondo oscillatore come per la ricezione di onde perfettamente continue.

L'emissione di un kw. fu perfettamente ricevuta a 10 mila km. da stazioni collocate in località infelicissime e in condizioni di mare cattive la *San Marco* potè, per la prima volta nella storia radio, dal mezzo dell'Oceano Atlantico e con un solo kw. comunicare commercialmente con *tutte* le parti del mondo, realizzando anche la prima comunicazione con gli antipodi (Nuova Zelanda) con onde corte e piccola potenza il 29 settembre 1924.

Durante la campagna fu sistematicamente notato che:

— L'effetto di schermo delle montagne sulla trasmissione e ricezione radio era pressochè trascurabile.

— La natura del territorio interposto non sembrava minimamente influire sulla qualità della ricezione.

— La trasmissione era generalmente più facile in direzioni facenti un certo angolo coi paralleli geografici anzichè in quelle che li seguivano (1).

— Il rendimento radiotelegrafico (v. pag. 271) variava notevolmente a seconda della posizione geografica della stazione quindi esistevano vere e proprie *zone*, favorevoli e sfavorevoli alla trasmissione con onde di 100 metri (2).

Dopo la campagna numerose stazioni ad onda corta furono installate dalla R. Marina italiana, stazioni che espletano tuttora un vero traffico, come ad esempio quello fra Roma e le nostre Colonie.

Queste installazioni si debbono essenzialmente al comandante prof. G. Pession, al quale va anche il merito di avere compreso fin da principio l'importanza dell'uso di onde corte nelle comunicazioni a distanza.

Esperienze con potenza relativamente piccola (2 kw.) furono condotte dopo la metà del 1924 dalla Compagnia Telefunken su onde di 70 m. per collegare commercialmente Berlino a Buenos Aires durante il massimo numero di ore possibile. Anche in questo caso si usò un oscillatore ad eccitazione separata, ottenendo così un'emissione molto stabile e pura,

(1) Fu anche notato spesso che la comunicazione verso occidente era più facile di quella orientale.

(2) Il punto di massimo rendimento si trovò nei pressi delle isole Canarie.

come personalmente potei rilevare ricevendola a distanze variabili fra i 1000 e i 12 mila chilometri in differenti condizioni di clima, stagione, ecc.

Si era a questo punto con le indagini e le ricerche, quando cominciarono a palesarsi i primi inaspettati risultati ottenuti coll'uso di onde molto più corte.

Fin dal 1923 il Genio militare francese aveva intrapreso ad esperimentare con onde di 45 metri senza per altro ricavarne un sufficiente numero di dati per la mancanza di stazioni ricevitrici adatte.

Apparivano però interessanti alcuni rapporti di ricezione ad oltre 500 km. che davano come intensa e assolutamente priva di evanescenza l'emissione diurna su 45 metri con una potenza oscillante di non oltre 300 watts.

Dalla stessa epoca datano regolari esperienze su onde di 50-60 m. del *Naval Research Laboratory* di Washington le quali principalmente provarono l'aumentata possibilità di comunicare di giorno a distanza.

Si erano anche intraprese prove su onde più corte (20 metri) ma con esito negativo poichè a distanza di qualche diecina di chilometri la intensità dei segnali si annullava rapidamente.

Sul finire del 1924 le Compagnie commerciali Marconi e Telefunken usando onde di 30 metri riuscirono ad aumentare notevolmente il numero delle ore durante le quali era possibile svolgere il traffico telegrafico a grande distanza provando l'utilità d'uso di questa gamma.

Dalle esperienze elencate e da altre successivamente condotte risultarono chiaramente le singolari proprietà della nuova gamma di onde corte (50-30 metri) proprietà che possiamo riassumere brevemente, così:

— A distanze molto ridotte (30-200 km.) la comunicazione era difficile, irregolare, influenzata dall'evanescenza e di intensità molto ridotta relativamente alla potenza impiegata [1].

— A distanze medie (800-1500 km.) la comunicazione era facile, regolare e poco influenzata dall'evanescenza durante *tutte le 24 ore* del giorno, i segnali durante le ore diurne riuscendo spesso migliori di quelli notturni.

— A distanze grandi (molte migliaia di km.) l'influenza nociva del giorno era di nuovo preponderante e soltanto i segnali notturni potevano essere utilizzati.

[1] Per esempio durante una serie di esperienze fra alcune stazioni mobili su autocarro del Genio militare francese e lo scrivente, la ricezione in Italia e cioè a quasi 1000 km. fu molto facile e buona, mentre quella fra le varie stazioni, a distanza anche ridottissima, era difficile e spesso impossibile.

Nel dicembre 1924 si scoperse casualmente negli Stati Uniti che i segnali su onde molto corte (20 metri), che si annullavano a distanza infima dal trasmettitore, riacquistavano invece una grandissima intensità molto lungi da questo anche se le prove si eseguivano in pieno mezzogiorno.

Così il 22 gennaio 1925 furono possibili regolari comunicazioni transcontinentali dalle coste dell' Atlantico a quelle del Pacifico in pieno mezzogiorno ([1]), e successivamente fu facile attraversare l' Atlantico in piena luce e cioè trasmettendo a mezzogiorno (da parte americana) con potenza di qualche centinaio di watts.

Le onde dell' ordine dei 20 metri, ben presto commercialmente adottate in America e in Europa, si dimostrarono molto utili nelle comunicazioni a grande distanza.

Infatti, riassumendone brevemente le principali caratteristiche si nota che usando onde dell' ordine dei 20 metri:

— La comunicazione nelle immediate vicinanze del trasmettitore (irregolare, incostante e difficile), è possibile in un raggio molto limitato (15-40 km.).

— Allontanandosi dal trasmettitore si nota una zona nella quale la ricezione è impossibile. Questa zona si estende generalmente per qualche centinaio di chilometri (500-600) e la sua estensione *varia in modo notevolissimo da ora ad ora e da stagione a stagione.*

— Aumentando la frequenza si aumenta l' estensione della « *zona neutra* » tanto che per onde molto corte questa sembra raggiungere molte migliaia di chilometri.

— A distanza media e grande (1000-4000 km.) la comunicazione *notturna* è negativa.

— A parità di condizioni e per ogni particolare ora del giorno esiste una lunghezza d' onda per la quale l' intensità dei segnali, in una data e fissa località di ricezione, è massima.

— A grandissima distanza la comunicazione risente ancora *e in modo benefico* dell' influenza della notte.

Da quanto precede appare chiaramente che l' uso di onde di questo ordine di lunghezza abbia completamente modificate le caratteristiche di propagazione a distanza, mostrandoci risultati molto spesso in perfetta opposizione a quelli generalmente ammessi dalla teoria e dalla pratica.

E di ciò ci occuperemo in seguito trattando delle teorie ed ipotesi di propagazione finora escogitate.

([1]) Nella stessa epoca esperimentando con onde di 45 metri ottenevo buoni risultati di distanza diurna (1000 km con 8 watts), mentre usando onde di 25 metri e potenza analoga riuscivo ad eseguire la prima comunicazione transcontinentale diurna europea (febbraio 1925).

Durante il 1926 non mancarono indagini sulla possibilità d'uso di onde ancora più corte. Fra le molte esperienze eseguite e in corso risultano interessanti quelle delle Compagnie Commerciali Marconi e Telefunken a General e di vari Laboratori, su onde dai 10 ai 15 metri. Esse sono abbastanza concordi nell'affermare che:

Usando onde dell'ordine dei 15 metri soltanto la comunicazione diurna è possibile (1).

Vedremo in seguito come si arrivi con facilità a supporre che con onde inferiori ai *dieci* metri le comunicazioni radio-telegrafiche non potrebbero essere condotte nè di giorno nè di notte.

Ciò è stato tuttavia messo in dubbio da recenti esperienze con onde dai 4 ai 6 metri che hanno permesso di inviare segnali *molto forti* a distanze superiori ai 500 chilometri con una esigua potenza irradiata. Escludendo questi casi isolati, il campo al di sotto dei 10 metri d'onda può dirsi ancora completamente inesplorato.

E non è da escludersi che esso ci riserbi molte sorprese.

Generalità sulla propagazione. — Immettendo dell'energia in un'antenna irradiante abbiamo la possibilità di rivelarne gli effetti a grande e a grandissima distanza, ma tuttavia le nostre presenti cognizioni non ci permettono di stabilire con sicurezza *che cosa* succede fra trasmettitore e ricevitore.

Le particolarità di propagazione delle onde elettromagnetiche, che cominciarono ad apparire molto complesse fin dall'inizio pratico delle comunicazioni senza filo rappresentano infatti il principale e più vasto argomento di studio della tecnica radio-elettrica.

Abbiamo veduto a pag. 52 per quel tanto che ce lo poteva permettere l'elementare esposizione come sia possibile raffigurare la produzione di onde e. m. all'intorno di un conduttore percorso da una corrente rapidamente variabile. E abbiamo anche ammesso che queste si propagano a distanza con la velocità della luce.

Nelle prime indagini teoriche sulla propagazione a distanza, si ammetteva il radiatore immerso in un dielettrico *perfetto* (2) *ed indefinito.*

In questo caso l'*attenuazione* delle onde e. m. mano mano che ci si allontana dal radiatore è semplicemente dovuta ad una suddivisione dell'energia loro su superfici sferiche via via più ampie. Quindi: *L'in-*

(1) Ciò almeno per le distanze esperimentate non superiori cioè ai 12 mila chilometri.
(2) Dielettrico perfetto dicesi quella sostanza ideale, la conducibilità della quale è *assolutamente nulla.*

tensità del campo e. m. varia inversamente alla distanza che intercede fra il radiatore e il rivelatore e alla lunghezza d'onda impiegata.

Ecco la legge di Hertz.

Ma ciò suppone l'esistenza di un dielettrico indefinito e perfetto nel quale la perturbazione e. m. può propagarsi senza subire alcuna perdita.

Ora anche ammettendo la possibilità di propagazione in un dielettrico perfetto è indispensabile considerare innanzi tutto un fattore di prima importanza che interviene inevitabilmente nella pratica e precisamente la *presenza della terra.*

Il radiatore infatti si trova sulla superficie di separazione fra un dielettrico (atmosfera) e un conduttore (terra).

Lo studio delle particolarità della propagazione che diventa allora molto più difficile e complesso, può tuttavia semplificarsi supponendo dielettrico e conduttore perfetti ([1]), indefiniti e separati da una superficie piana.

Ci è già noto (v. pag. 62) che un'onda e. m. incidendo in un conduttore qualunque induce in questo una corrente elettrica alternativa.

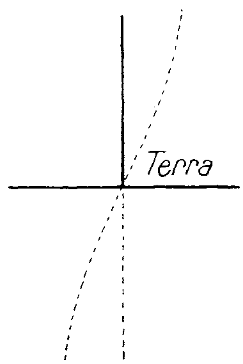


Fig. 300.

Così è anche per le onde generate dal nostro radiatore e la corrente indotta nel conduttore *terra,* è tanto più localizzata alla superficie quanto più alta è la frequenza impiegata.

Se consideriamo il caso di un radiatore collegato metallicamente alla terra (fig. 300) possiamo raffigurarcene un'immagine ideale e simmetrica al di là della superficie terrestre che porti impressa una f. e. m. identica ed opposta a quella del conduttore reale.

Allora le onde generate da questo secondo radiatore ideale inducono nel conduttore *terra* una corrente analoga ed opposta all'altra che si porta pure alla superficie *neutralizzando* la prima.

In questo caso la presenza della terra è senza effetto, quindi è possibile riportarci alle primitive condizioni di propagazione in un dielettrico indefinito ed usare ancora l'espressione fondamentale di Hertz.

Supponendo allora il radiatore sulla superficie (piana) di separazione fra un conduttore ed un dielettrico indefiniti e perfetti, l'intensità del campo e. m. varia inversamente alla distanza e alla lunghezza d'onda.

([1]) Conduttore perfetto è quella sostanza ideale che possiede conducibilità infinita.

Ma nelle comunicazioni radio-elettriche da un punto all'altro della terra ben altri fattori entrano in gioco a modificare e a variare in modo molto notevole le primitive supposte condizioni.

Occorre anzitutto considerare che:

— La superficie terrestre non è perfettamente conduttrice.

— L'atmosfera terrestre non è perfettamente dielettrica.

— La superficie di separazione non è piana ma sferica; essa inoltre non è definita ma irregolare e variabile geograficamente.

Influenza della terra. — Abbiamo veduto che supponendo la terra perfettamente conduttrice, il suo effetto sulla propagazione è nullo poichè il campo elettrico non potendo penetrare anche minimamente al di sotto della superficie nessuna perdita di energia si può in questo modo verificare.

Ma esaminando la superficie terrestre nei più svariati punti del nostro globo possiamo a priori convincerci che essa non rappresenta affatto un conduttore perfetto.

In questo caso occorrerebbe che le sostanze che compongono la crosta terrestre avessero conducibilità e costante dielettrica infinita, ed è noto che fra tutti gli elementi conosciuti nessuno possiede queste proprietà.

È bensì vero che la conducibilità di un grande numero dei dielettrici o semi-dielettrici che si trovano alla superficie della terra è variabile con la frequenza come da vario tempo si notò. Più precisamente essa sembra aumentare direttamente con questa per raggiungere un minimo determinato, così che per le alte frequenze (radio-elettriche) la conducibilità della terra è molto più grande che per le basse.

Ammettendo la imperfetta conducibilità della terra, essa non riesce più impenetrabile al campo elettrico e questo raggiunge con notevole intensità punti tanto più lontani dalla superficie quanto più bassi sono i valori della conducibilità e della frequenza ([1]).

Supposta infatti la terra perfettamente dielettrica e mantenendo la ipotesi di un'atmosfera analoga, si verificano di nuovo le ipotesi di Hertz, cioè il radiatore è immerso in un dielettrico indefinito e perfetto, quindi le onde e. m. si dispongono su superfici sferiche tutto all'intorno dell'oscillatore.

Variamo ora le qualità dielettriche della terra diminuendole mano mano fino a raggiungere le proprietà di un conduttore perfetto; mano

([1]) Rigorosamente, il grado di penetrabilità dipende anche dalla *permeabilità* del suolo e dallo *smorzamento* delle oscillazioni.

mano che la resistività del suolo diminuisce, mano mano cioè che ci si avvicina allo stato di conduttore, minore diventa il potere di penetrazione del campo e. m.

Allora le onde e. m. all' intorno del radiatore da sferiche che erano vanno via via deformandosi dal lato terrestre avvicinandosi alla superficie.

Arrivati alle condizioni dielettriche proprie di un suolo molto secco esse non riescono a penetrare oltre qualche centinaio di metri per le massime loro lunghezze.

Aumentando ancora la conducibilità questa profondità si riduce a qualche metro, a qualche centimetro, e quindi a *zero* nel caso limite del conduttore perfetto, e allora soltanto delle ideali calotte semisferiche possono considerarsi al di sopra del radiatore.

In questo caso l' influenza della terra è di nuovo nulla e ritornano valide le espressioni di Hertz.

Ma in pratica i due casi limiti supposti (terra perfettamente conduttrice o perfettamente dielettrica) non possono verificarsi ([1]).

Si rende allora possibile la penetrazione del campo e. m. al di sotto della superficie e la nascita di correnti, indotte nel suolo dal campo stesso.

Sono queste correnti che dissipate termicamente determinano un assorbimento di energia che è la causa principale dell' attenuazione delle onde e. m. che si propagano alla superficie della terra, introducendo un nuovo fattore nelle primitive espressioni hertziane.

Esso viene detto in pratica *assorbimento della terra.*

Riepilogando le principali teorie al riguardo (Zeneck e Sommerfield) abbiamo che:

— La diminuzione del campo e. m. è determinata dall' assorbimento di energia dovuto alla presenza di correnti indotte nel suolo.

— L' assorbimento è massimo per un dato valore della conducibilità e tanto maggiore quanto più piccolo è il valore della costante dielettrica ([2]).

— Il coefficiente di attenuazione è inversamente proporzionale alla radice quadrata della lunghezza d' onda.

Ammesso finora il caso di una superficie piana di separazione fra terra ed atmosfera, non era possibile arrivare ad alcuna conclusione venendo al caso pratico della terra sferica.

([1]) Può apparire strano come la conducibilità di un conduttore di sezione praticamente infinita, quale è la nostra terra, non debba essere pure infinita per quanto grande sia la resistività delle sostanze che la compongono. Ma occorre ricordare che per la localizzazione alla superficie delle correnti indotte la resistenza del suolo è tanto più grande quanto maggiore è la sua conduttività e quanto più alta la frequenza delle correnti stesse.

([2]) Infatti nel caso di un conduttore perfetto (costante dielettrica infinita) l' assorbimento è nullo.

Già da tempo era noto che le onde e. m. seguono le irregolarità della superficie di un conduttore che si trovi in prossimità loro. In questo modo si spiegava appunto la possibilità di propagazione a punti molto distanti, quando la curvatura della terra deve essere assolutamente presa in considerazione.

Il Sommerfield ha dimostrato col calcolo che un radiatore qualunque emette ad un tempo due « *qualità* » di onde: *superficiali* e *spaziali.*

Le prime si propagano alla superficie della terra analogamente alle onde in uno stagno, le altre si propagano nell'atmosfera con intensità variabile secondo i vari angoli zenitali. I due sistemi d'onde raggiungono insieme il rivelatore o l'uno o l'altro prevale a seconda della lunghezza d'onda, della conducibilità della terra e della distanza che intercede fra radiatore e ricevitore.

L'introduzione del concetto delle onde spaziali è molto importante in pratica, poichè permette di pensare la terra sferica e semidielettrica e riesce a portare il calcolo della propagazione a basarsi principalmente su problemi già felicemente risolti nel campo dell'*ottica.*

L'influenza dell'atmosfera. — Si credette da prima che il fenomeno della diffrazione (v. pag. 43) fosse da sè sufficiente a permettere le comunicazioni a grandissima distanza, attraverso l'enorme ostacolo rappresentato dalla curvatura terrestre.

Ma vari scienziati provarono col calcolo che ammettendo soltanto la *diffrazione*, non ci si poteva affatto rendere ragione della cospicua intensità dei segnali radiotelegrafici a grande distanza dal radiatore. Fu allora che si cominciò a considerare l'« *atmosfera* » non più come un isolante perfetto ed indefinito, ma come un mezzo di natura variabile nei vari punti e con caratteristiche di *conduttore* piuttosto che di dielettrico.

Infatti studî anteriori dedicati ad altri scopi della Fisica, avevano provato che l'aria rarefatta ad un centesimo di millimetro di mercurio ha una conducibilità per le correnti alternate paragonabile a quella di un metallo o, più precisamente, pari a venti volte quella dell'acqua marina.

Fin dal 1902 Kennelly in America ed Headviside in Inghilterra sostennero la presenza di uno strato conduttore nell'alta atmosfera.

Kennelly stabiliva con un calcolo approssimativo che per raggiungere la rarefazione necessaria alla realizzazione di questo, occorreva salire ad oltre 80 chilometri dalla superficie terrestre.

In questo modo, egli diceva, il problema della propagazione a distanza verrebbe grandemente semplificato, poichè lo si potrebbe riportare al caso

di propagazione in un mezzo a due dimensioni e quindi con un'attenuazione delle onde e. m. inversamente proporzionale alla distanza, mentre supponendo l'influenza della terra, questa sarebbe stata molto più notevole.

Di qui l'idea che la propagazione non avvenga già alla superficie di separazione fra un conduttore ed un dielettrico indefiniti e quindi per onde *semisferiche*, ma che bensì il dielettrico sia limitato fra il conduttore terrestre da un lato e il conduttore celeste dall'altro, così che la propagazione si verificherebbe a mezzo di onde comprese fra questi due strati e quindi *piane*. In altri termini le onde si propagherebbero fra due calotte sferiche conduttrici e concentriche e le superfici d'onda tenderebbero a divenire dei cilindri perpendicolari alle calotte stesse.

L'influenza dell'atmosfera ha una parte preponderante nello studio dei fenomeni di propagazione delle *onde corte* attorno alla terra: per meglio comprenderne il valore è indispensabile riassumerne brevemente le principali proprietà.

Proprietà e. m. dell'atmosfera. — La terra, conduttore elettrizzato immerso in un dielettrico, determina naturalmente all'intorno un campo elettrico (v. pag. 9).

Le nostre esperienze ci dimostrano che la *direzione* di questo è identica a quella che noi troviamo all'intorno di un conduttore caricato negativamente; quindi si ammette che: *La carica della terra è negativa.*

Questa carica, per quanto non apparisca ai nostri sensi è molto intensa: il potenziale elettrico della terra si valuta infatti a milioni di volts.

Ora, se misuriamo la differenza di potenziale fra il suolo e un punto prossimo dell'atmosfera, troviamo dei valori tanto più notevoli quanto più ci allontaniamo dal primo.

Sebbene il potenziale terrestre sia variabile da ora ad ora del giorno, con le stagioni e saltuariamente, esso è in media per gli strati atmosferici immediatamente vicini alla terra, di 100-150 volts per metro.

Così un uomo alzando le mani può stabilire fra queste e il suolo una differenza di potenziale di oltre 300 volts, mentre salendo su una torre molto alta questa differenza può essere centinaia di volte maggiore ([1]).

([1]) L'origine del potenziale terrestre è sconosciuta. Vi sono però molti dati teorici ed esperimentali che tendono a stabilirne la provenienza, come vedremo in seguito.

Metodiche esperienze hanno stabilito che il valore del potenziale terrestre è massimo in quasi tutti i punti del globo fra marzo ed ottobre e che è molto variabile.

Durante il giorno esso raggiunge un massimo verso il mezzogiorno in America, sul tramonto in Europa e verso la mezzanotte in Australia.

Importanti variazioni si sono pure notate in coincidenza con l'apparizione delle cosidette « *macchie solari* ».

Poichè i nostri istrumenti ci rivelano che questa d. d. p. permane indefinitamente occorre ammettere che una corrente elettrica fluisce pure indefinitamente fra il nostro corpo e la terra, senza tuttavia determinare alcun effetto in noi per l'esigua sua intensità. Noi riusciremmo infatti a trovare appena qualche centinaio di milliamperes, ove fosse possibile misurare l'intensità della corrente che va dall'atmosfera al suolo o viceversa, attraversando l'intera popolazione terrestre.

Ma per quanto piccola sia l'intensità delle singole correnti che fluiscono fra la terra e i punti più o meno prossimi della atmosfera, la somma di queste non può essere affatto disprezzabile.

Occorre infatti considerare un altro fatto importante; l'imperfezione cioè del dielettrico che circonda la terra.

L'*aria* che circonda il nostro globo, sebbene sia praticamente considerata il più perfetto degli isolanti, ha una conducibilità sufficiente per permettere un passaggio continuo di elettricità fra la terra e la atmosfera.

Questa corrente elettrica che si valuta a circa 1000 amperes sarebbe sufficiente a « *scaricare* » la terra in meno di un quarto d'ora.

Deve esistere allora una f. e. m. capace di mantenere la d. d. p. fra terra ed atmosfera affinchè la corrente possa fluire indefinitamente o, in altri termini, la terra deve ricevere di nuovo in qualche modo e continuamente, le cariche elettriche che perde.

Tralasciamo questo argomento che costituisce uno dei più appassionanti problemi di elettricità atmosferica, e vediamo invece a che cosa si deve attribuire la conducibilità stessa dell'atmosfera.

Ionizzazione dell'atmosfera. — L'imperfezione dielettrica dell'aria è determinata dalla sua *ionizzazione* (v. pag. 75).

Infatti per varie cause dagli atomi e dalle molecole dell'aria vengono liberati elettroni i quali danno origine a ioni positivi e negativi che muovendosi in senso inverso sotto l'azione del campo elettrico, rendono il mezzo più o meno conduttore a seconda del loro mumero.

Ma le *varie cause* che determinano la ionizzazione sono più o meno permanenti, quindi il numero di ioni generati, e assieme a questi la conducibilità, deve continuamente aumentare col tempo.

Ciò non succede in pratica poichè gli ioni scomposti si ricombinano continuamente. Ora quando ad una *scomposizione* di un certo numero di ioni corrisponde la *ricombinazione* di un numero molto analogo, la ionizzazione si mantiene al valore iniziale per quanto durino le cause che la determinano.

Ciò succede infatti negli strati inferiori dell' atmosfera dove la ionizzazione, se pure esistente, si può considerare praticamente nulla.

Coll' aumentare dell' altezza rispetto al suolo e quindi coll' aumentare della rarefazione dell' aria, le probabilità di ricombinazione sono evidentemente diminuite per il minor numero di atomi e molecole contenuti nell' unità di volume.

Ora, poichè le cause di ionizzazione permangono, l' entità della scomposizione va via via aumentando.

Per questo *la ionizzazione aumenta con l' altitudine.*

Esiste però un minimo di rarefazione per il quale corrisponde la ionizzazione massima, poichè oltre a questo, il numero di atomi e molecole sempre minore contenuto nell' unità di volume ridurrebbe sempre più la quantità di ioni liberi e quindi la conducibilità.

Ecco ciò che un semplice ragionamento logico ci suggerisce anche senza l' aiuto dell' esperienza che come vedremo lo conferma.

Le cause di ionizzazione sono innumerevoli: classificandole possiamo dividerle così:

cause dovute alla radio-attività terrestre;
all' azione di elettroni dotati di grande velocità;
all' azione dei raggi ultra-violetti emessi del sole.

La ionizzazione dovuta a cause terrestri è senza dubbio quella che predomina negli strati atmosferici immediatamente vicini alla terra (qualche centinaio di metri). Essa è dovuta principalmente alle emissioni proprie delle sostanze radio-attive.

Il radio e le sostanze radio-attive in genere emettono, disgregandosi, dei nuclei positivi che possiedono velocità relativamente lente e degli elettroni dotati di velocità prossima a quella della luce. Questi ultimi danno luogo alla loro volta, cozzando con molecole ed atomi, ai cosidetti raggi γ (v. tav. pag. 40), che non sono altro che penetrantissimi raggi X. Sebbene il loro potere ionizzante non sia grande, ad essi si deve gran parte della ionizzazione, per le notevoli distanze che possono varcare.

Ma l' azione delle sostanze radio-attive che si trovano più o meno profonde sotto la superficie terrestre, non è diretta: esse infatti danno luogo, disgregandosi, a nuove sostanze gassose, dette *emanazioni,* di analoghe proprietà, che si espandono nell' atmosfera ionizzandola facilmente.

L' esperienza ha smentito che soltanto a cause terrestri si possa attribuire la ionizzazione dell' atmosfera. Infatti non solo si trova, *sul mare,* un valore della ionizzazione molto vicino a quello terrestre, ma innalzandosi nell' atmosfera si misurano bensì valori via via più ridotti

fino ad un migliaio di metri di altezza, ma oltre i 1000 metri si osserva che la conducibilità dell' aria ricomincia a crescere rapidamente per sorpassare i primitivi valori mano mano che l' altezza aumenta.

La ionizzazione dell' alta atmosfera deve essere quindi attribuita a cause *extra-terrestri.*

Influenza del sole sulla ionizzazione. — Calcoli ed esperienze rendono molto attendibile la primitiva ipotesi che la causa principale di ionizzazione dell' atmosfera sia dovuta al *sole.*

Il sole può essere considerato come un enorme filamento incandescente portato ad una temperatura straordinariamente alta (1).

Esso quindi emette elettroni (v. pag. 72). Questi ultimi, nell' attraversare l' atmosfera gassosa solare (cromosfera) si combinerebbero variamente con atomi formando degli ioni più o meno pesanti, che sarebbero alfine respinti dalla enorme *pressione di radiazione.*

Un corpo incandescente esercita infatti sui corpuscoli che lo circondano, una pressione tendente ad allontanarli, proporzionale alla sua intensità luminosa.

Ora questa, per quanto infinitesima sia nei casi che a noi è possibile osservare, raggiunge dei valori elevatissimi nel caso del sole, tanto da poter fare arrivare nella parte superiore dell' atmosfera e con notevolissima velocità, ioni ed elettroni in gran copia.

Essi, non solo ionizzerebbero allora l' atmosfera stessa, ma stante la loro velocità determinerebbero la formazione di penetrantissimi raggi X che riuscirebbero a raggiungere e quindi a ionizzare anche gli strati più bassi dell' atmosfera (2).

Questa teoria ci rende anche felicemente ragione delle caratteristiche proprietà delle *aurore boreali* (3) e riesce anche utile nello studio delle cosidette *burrasche magnetiche* (v. pag. 289).

(1) La temperatura del sole si calcola a 6-7 mila gradi alla superficie, mentre all' interno essa raggiungerebbe qualche decina di milioni di gradi.

(2) Gli elettroni, separati dagli atomi, seguirebbero, in certo qual modo, il cammino dei raggi, provocando vere e proprie *correnti* che dall' atmosfera raggiungerebbero la terra comunicando ad essa la carica negativa che ci mostra l' esperienza: così si spiegherebbe secondo lo Swann la permanenza e la variazione del potenziale elettrico terrestre.

(3) L' aurora boreale o polare è un fenomeno luminoso di origine elettrica che si presenta nelle più svariate forme specialmente nei pressi delle zone polari. Si calcola l' altezza media degli strati luminosi sui 150 km. e la massima sui 500. L' intensità dell' aurora varia secondo le ore del giorno e delle stagioni raggiungendo massimi in aprile ed ottobre.

Quasi tutte le ipotesi tendenti a spiegarne la natura sono concordi ad attribuire la luminosità ad un bombardamento di corpuscoli dotati di grande velocità.

Una interessante coincidenza è quella di un periodo aurorale di 11 anni, analogo a quello che si nota nella frequenza delle macchie solari.

Infatti molti esperimentatori sono concordi nell'affermare che dopo una cinquantina di ore dal passaggio di una *macchia solare* (¹) da un meridiano si nota sulla terra una burrasca magnetica.

Questo periodo di tempo coinciderebbe con quello che si calcola venga impiegato dalle particelle solari a raggiungere la nostra atmosfera, così che si avrebbe una nuova conferma dell'esistenza di una causa di ionizzazione permanente extra-terrestre.

L'ionizzazione dovuta ai raggi ultra-violetti emessi dal sole è pure molto importante e la sua esistenza ci è principalmente rivelata dalle caratteristiche della propagazione diurna.

Soltanto vibrazioni di lunghezza d'onda estremamente piccola, come ad esempio le ultraviolette (v. pag. 40) hanno il potere di ionizzare l'aria, come il calcolo e l'esperienza affermano concordi, ma d'altra parte queste onde così corte sono arrestate coll'aumentare della densità dell'atmosfera (man mano che ci si avvicina alla superficie terrestre).

Allora la ionizzazione dovuta ai raggi ultra violetti solari non è possibile a meno di 10-20 chilometri di altezza, quando cioè la rarefazione dell'aria è sufficiente a permettere il passaggio dei raggi stessi.

Influenza del campo magnetico terrestre. — I corpuscoli elettrizzati in movimento che provengono dal sole e dalla terra sono influenzati dal campo magnetico terrestre come fu provato col calcolo da prima e con l'esperienza di poi.

Sembra però che l'influenza sia reciproca: infatti l'intensità del campo magnetico terrestre anzichè essere uniforme è variabile da ora ad ora, da giorno a giorno, con le stagioni ecc. e alle volte subisce dei cambiamenti notevoli ed irregolari che sono chiamati *burrasche magnetiche.*

Il Schuster per primo stabilì che queste variazioni sono determinate da cause esterne alla terra e quindi celesti. Più precisamente egli suppose che esse fossero dovute al fluire di correnti elettriche nell'alta atmosfera o a movimenti di strati d'aria ionizzata e quindi conduttori.

In questo caso si poteva fare l'appunto che avrebbe dovuto esistere una relazione fra le variazioni *magnetiche* e quelle *barometriche* a cagione del movimento di questi strati. L'importanza di questo è tuttavia dubbia quando si pensi che gli strati bassi pure influendo col loro

(¹) È universalmente noto che cosa si intenda per macchia solare. Lunghe esperienze hanno provato che la frequenza di queste segue un periodo ben determinato di circa 11 anni. Ora variazioni nelle caratteristiche di propagazione a periodo così lento si sono effettivamente riscontrate. Lo studio delle onde corte fornirà senza dubbio altro materiale sperimentale, anche considerando che il periodo *massimo* delle macchie solari si verificherà nel 1928.

movimento sulla pressione barometrica non possono provocare grandi variazioni magnetiche per la loro esigua conduttività, mentre ciò è riservato agli strati alti e quindi molto ionizzati, i quali naturalmente non intervengono a modificare le condizioni barometriche.

La principale influenza del campo magnetico terrestre sui corpuscoli elettrizzati dispersi nell' atmosfera è quella di deviarli dal loro cammino.

I corpuscoli provenienti dal sole descrivono delle traiettorie più o meno complesse non appena cominciano a risentire l' influenza magnetica della terra ed arrivano (come si ha ragione di ritenere) in ristrette zone dell' atmosfera simmetriche all' asse magnetico terrestre e quindi *in prossimità dei poli*; zone che sono tanto più vaste quanto più l' intensità del campo magnetico terrestre è notevole.

Ora è importante notare che se pur con l' avanzare della notte queste zone di arrivo dei corpuscoli elettrizzati si restringono sempre più, esse tuttavia permangono continuamente poichè i corpuscoli emanati dal sole e deviati dalla loro traiettoria dal campo magnetico terrestre, *possono anche raggiungere punti della parte oscura del globo.*

Di qui la possibilità delle aurore boreali e quindi la relazione calcolata ed esperimentata che esiste fra la frequenza di queste e la velocità di rotazione del sole, la comparsa delle *macchie*, ecc.; e la spiegazione della irregolarità del fenomeno e delle svariatissime forme con le quali esso si presenta.

Una ulteriore conferma si può trovare nella scoperta fatta nel 1901 di una specie di *aurora permanente* nel cielo notturno.

Infatti si notò che la luce notturna è molto più intensa di quella che si può calcolare come dovuta alla luminosità delle stelle.

Anche in questo caso si stabilisce che i corpuscoli emanati dal sole e deviati dal campo magnetico, si distribuiscono perfino nelle parti oscure del globo provocando, nel cozzo con molecole ed atomi, la detta luminosità.

Altre esperienze, vengono a stabilire che parallelamente all'equatore dovrebbero pure addensarsi corpuscoli elettrizzati in zone variabili più o meno vaste.

Caratteristica di queste sarebbe la variabilità della distribuzione e il movimento disordinato degli strati elettrizzati.

Distribuzione della ionizzazione con l' altezza. — Riepilogando abbiamo una carica negativa dell' atmosfera nello strato immediatamente vicino alla terra (v. fig. 301).

A questa carica che si annulla nei pressi del metro succede una carica positiva che va gradualmente crescendo con l'altezza per annullarsi sui venti chilometri.

I valori di queste due cariche non sono affatto fissi e costanti nei vari punti poichè sulla loro disposizione influiscono i *venti* che muovono continuamente e in ogni senso delle vere *nubi* di corpuscoli elettrizzati.

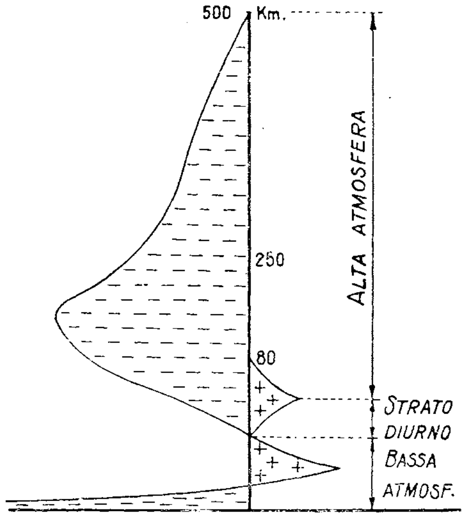


Fig. 301.

Innalzandosi oltre i 20 km. la rarefazione sempre crescente dell'aria permette la penetrazione dei corpuscoli emanati dal sole e quindi si incomincia a notare una carica negativa.

Ma la densità è tuttavia ancor troppo notevole per permettere il passaggio di veri e propri elettroni. La carica sarà quindi essenzialmente dovuta a ioni di dimensioni molecolari ed atomiche e quindi molto pesanti.

Si calcola che il punto più basso che gli elettroni possono raggiungere si aggira sui 60 chilometri dalla superficie del suolo e che a questo punto corrisponda la massima ionizzazione e quindi la massima conducibilità.

Questa va via via diminuendo con la rarefazione e con l'altezza per annullarsi di nuovo oltre i 500 km.

I raggi ultra violetti sono sufficientemente penetranti per raggiungere strati atmosferici relativamente bassi con intensità sufficiente a determinare una forte ionizzazione.

Così è verso i 30-50 km. di altezza che si trovano gli strati conduttori ionizzati da questi raggi, *strati presenti soltanto nelle parti illuminate* e quindi di giorno e che si rinnovano continuamente seguendo il ciclo solare.

A questi strati sono da attribuirsi le differenze fra giorno e notte che si riscontrano nelle comunicazioni radio-elettriche.

Le varie altezze stabilite sono tutte *calcolate* su un insufficiente materiale esperimentale: esse quindi non rappresentano dati positivi.

Tuttavia anche stabilendo effettive altezze dei vari strati, appare subito evidente che la loro essenza dipende da un numero così svariato di influenze che ben difficilmente esse possono essere considerate come qualche cosa di stabile e permanente.

Lo studio della propagazione hertziana specialmente collegato all'uso di onde corte, è l'arma più potente che noi abbiamo finora, per indagarne le proprietà.

Propagazione spaziale. — La propagazione di onde elettromagnetiche nell'atmosfera terrestre, supposta perfettamente dielettrica (1), si può studiare con gli stessi metodi dell'ottica astronomica, basando cioè il calcolo sui fenomeni della rifrazione (v. pag. 45).

In questo caso le vibrazioni emesse secondo un angolo compreso fra 0° e 90° si allontanerebbero costantemente dalla terra, verso la quale verrebbero tuttavia più o meno *curvate* per rifrazione, a seconda della loro inclinazione sull'orizzonte e della natura del mezzo.

In questo modo esse potrebbero descrivere delle vere traiettorie circolari attorno alla terra (senza subire quindi alcun assorbimento) o essere rifratte in punti molto prossimi al radiatore (notevole assorbimento) o essere alfine così poco rifratte da non ritornare più sulla terra disperdendosi nello spazio.

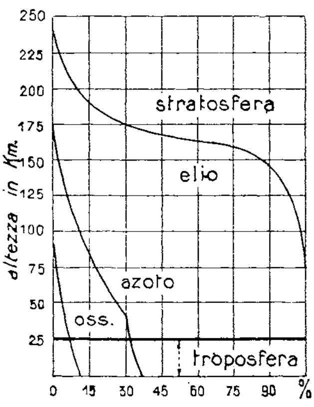


Fig. 302.

Questa influenza *fisica* dell'atmosfera si spiega con la differente sua densità e natura delle varie altitudini.

L'atmosfera è infatti costituita negli strati inferiori (troposfera) da un miscuglio di gas che non possono separarsi a cagione del continuo movimento di cui sono dotati (effetti del vento, termici, ecc.). Innalzandosi però oltre i 15-20 km. dove questi effetti non sono più notevoli, i vari gas si dispongono a strati a seconda del loro peso, e di qui il nome di *stratosfera* col quale si distingue questa regione dello spazio (fig. 302).

È evidente che col progredire dell'altezza si incontreranno gas via via più leggeri così che per la graduale diminuzione di densità anche il valore dell' *indice di rifrazione* andrà via via modificandosi.

L'atmosfera si comporta allora come un mezzo sferico, l'indice di

(1) Che non determina cioè alcuna perdita.

rifrazione del quale va diminuendo con l'altezza: essa ha perciò il potere di curvare (rifrangendole) verso la terra le vibrazioni e. m. che la raggiungono dal suolo.

Questo evidentissimo fatto che avrebbe il potere di darci con positiva sicurezza la spiegazione della propagazione hertziana attorno alla terra è negato tuttavia da calcoli indiscutibili, che provano come la rifrazione dovuta alla differente composizione fisica dell'atmosfera è insufficiente a rimandarci i raggi emessi verso l'alto.

Essa può tuttavia avere una parte non indifferente nei fenomeni di variazione e di irregolarità così comuni nella pratica radiotelegrafica.

Teoria di Eccles. — La graduale rifrazione di onde e. m. nel loro cammino attraverso l'atmosfera può non solo attribuirsi alla densità variabile del mezzo, ma anche e specialmente alla sua differente *conducibilità.*

Si prova col calcolo che la velocità di propagazione nel mezzo atmosfera è paragonabile a quella in un mezzo dielettrico perfetto soltanto quando la conducibilità è molto piccola e la frequenza è molto grande.

Nel caso pratico invece di un mezzo a conducibilità gradualmente crescente con l'altezza e di frequenze non eccessivamente grandi, si verifica una graduale variazione dell'indice di rifrazione sufficiente a renderci ragione della curvatura delle vibrazioni.

L'Eccles, approfondendo il concetto, emise una sua teoria che riesce ad avere punti di contatto con casi verificati in pratica. Egli si basò sul fatto che il movimento dei corpuscoli elettrizzati (ioni) del mezzo attraverso il quale si effettua la propagazione, può essere *in opposizione* a quello delle correnti di spostamento nel dielettrico (v. 1ª, cap. 2°) producendo un'apparente diminuzione della *costante dielettrica.*

Ora, poichè la costante dielettrica determina la velocità di propagazione, e precisamente questa è inversamente proporzionale a quella (1), *la velocità in un mezzo ionizzato sarebbe maggiore che nel vuoto* (2).

Su queste basi egli spiega le particolarità riscontrate in pratica, ammettendo una propagazione fra due conduttori (terra ed atmosfera).

Di notte i raggi emessi si propagherebbero a distanza subendo una

(1) La velocità di propagazione è infatti inversamente proporzionale al quadrato della costante dielettrica.

(2) Essa fra l'altro dipende dalla massa degli ioni liberi, risultando tanto maggiore quanto più questa è piccola.

Così i massimi effetti si avrebbero nella alta atmosfera, dove la massa degli ioni è sempre più piccola.

serie di *riflessioni* alternativamente sulla superficie terrestre e sullo strato permanentemente ionizzato. In questo modo, escludendo qualsiasi assorbimento, l'intensità del campo diminuirebbe inversamente alla distanza.

Di giorno invece, gli strati d'aria ionizzata relativamente bassi farebbero predominare il fattore *rifrazione*.

I raggi emessi con una certa inclinazione sull'orizzonte, aumentando di velocità con l'altezza, devierebbero negli strati superiori, subendo una curvatura sufficiente per ritornare sulla terra. Rimandati nell'atmosfera per riflessione, si rifrangerebbero di nuovo, per riflettersi ancora alla superficie terrestre, e così via fino a raggiungere la massima distanza.

Immediata conseguenza di quanto precede è che i segnali diurni debbono essere meno intensi di quelli notturni, e ciò tanto più quanto più corta è la lunghezza d'onda impiegata, e quindi quanto minore è il rapporto fra la velocità normale e quella nel mezzo ionizzato (cioè il valore dell'indice di rifrazione).

Infatti di giorno, oltre alle perdite per assorbimento dovute al mezzo ionizzato, perdite che non esistono durante le riflessioni notturne, si verifica il fatto che ad una piccola inclinazione dei raggi in partenza corrisponde una rifrazione insufficiente a farli ritornare sulla terra e quindi la perdita di gran parte della energia irradiata.

Con ragionamenti analoghi si trova che per ogni data distanza esiste una particolare lunghezza d'onda per la quale corrisponde la massima intensità dei segnali, quando cioè occorre un minimo di rifrazioni e riflessioni per raggiungere il posto ricevitore.

La teoria di Eccles non considera le perdite per assorbimento che si verificano tanto negli strati ionizzati dell'atmosfera che alla superficie terrestre fattori che variano con la conducibilità e la frequenza e che non sono affatto trascurabili nella pratica.

Essa è stata molto discussa specialmente per la necessità d'ammettere una velocità di propagazione maggiore di quella ritenuta limite delle velocità e per l'enorme numero di ioni (per unità di volume) necessario a determinare gli effetti di rifrazione. Riferendoci allo studio della propagazione delle onde corte, avremo occasione di accennare a recenti modifiche introdotte nella teoria di Eccles, modifiche che sembrano migliorarla non poco.

Riguardo alla conferma dell'esistenza degli strati superiori ionizzati citeremo lo studio del Watson, il quale, ammettendo uno strato riflettore superiore a conducibilità finita o infinita ma fissa e non variabile con l'altezza, ottenne matematicamente espressioni molto simili a quella empirica dell'Austin.

Influenza della distribuzione dei corpuscoli elettrizzati. — Le differenze che si notano nelle varie ore e nel tempo dei segnali radioelettrici si sono attribuite a differenti disposizioni dei corpuscoli elettrizzati.

Supposta sviluppata in un piano una circonferenza terrestre qualunque, abbiamo varie posizioni delle due stazioni A e B (che

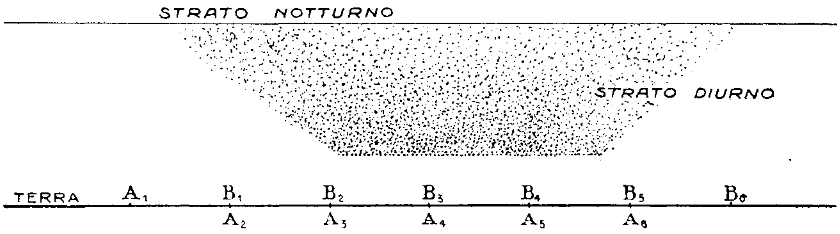


Fig. 303.

intendono comunicare fra loro) rispetto al limite fra giorno e notte (fig. 303).

Quando A e B si trovano nelle posizioni 1, la trasmissione segue il regime notturno. Quando B sta per raggiungere la luce (posizione 2), cioè quando il sole sta per nascere in B, lo strato ionizzato più basso che esiste nella zona in luce, determina una riflessione in B delle vibrazioni in A e quindi un aumento di intensità.

Quando B oltrepassa la zona di separazione (3), fra A e B è interposto uno « *scalino* » che riflettendo variamente i segnali determina una diminuzione di questi.

Quando ambedue i posti sono in luce (posizione 4) si ha il regime diurno e al tramonto, cioè coll' entrata nell' oscurità di B (posizione 5), si ha una nuova diminuzione essendo ancora interposto lo strato ionizzato diurno.

Quando il sole tramonta in A (posizione 6) si ha un rinforzamento graduale dei segnali riflessi sulla superficie di separazione finchè si rientra nel regime notturno.

Ora poichè l' altezza e il grado di ionizzazione dei vari strati atmosferici appare essere da quanto precede, il principale fattore determinante le caratteristiche di propagazione, si sono attribuite ad irregolarità continuamente variabili di questi le rapide variazioni che si riscontrano nella propagazione radioelettrica.

Questo caso fu esaurientemente esaminato sin dal 1915 da vari fisici e specialmente dal Nagaoka e dal Marchant.

Essi attribuivano le variazioni ad una specie di « ondeggiamento » degli strati superiori (dovuto a cause atmosferiche, cosmiche ecc.), così che le onde incidenti riflettendosi in punti variati, ritornassero alla terra percorrendo diversi cammini. In questo modo i massimi e minimi osservati potevano facilmente attribuirsi a fenomeni di interferenza.

Il Nagaoka andò oltre in questa ipotesi e raggiunse deduzioni degne di essere ricordate:

« Ci si è spesso domandato — egli dice — se i gas rarefatti della alta atmosfera partecipano alla rotazione della terra, come se fossero o no rigidamente fissati a questa; la enorme velocità delle nuvole argentate osservate ad un altezza di 40-50 chilometri dopo l'eruzione del Krakatoa sostiene la seconda ipotesi. Se gli « ondeggiamenti » degli strati si formano ad un'altezza sufficiente affinchè questi siano sottratti parzialmente alla rotazione della terra, anche la riflessione da parte della superfice ondulata presenterà dei massimi e dei minimi alternativamente; e questo si nota generalmente osservando le emissioni irregolari.... Riguardo alla trasmissione hertziana lungo differenti paralleli occorre ricordare che nella alta atmosfera la ionizzazione dovuta ai corpuscoli elettrizzati è estremamente complessa nei pressi delle zone aurorali (v. pag. 290).

« La complessità così apportata dalla accumulazione di corpuscoli in un punto particolare *accrescerà senza dubbio la difficoltà di comunicazione nelle regioni polari.*

« La zona equatoriale non ha al contrario una distribuzione di corpuscoli così complessa. Fidandosi delle esperienze di Birkaland e dei calcoli di Störmer, l'esistenza di una cintura di corpuscoli nei pressi dell'equatore magnetico, non è un ostacolo alle comunicazioni, poichè lo strato riflettente non ne risente una grande alterazione.

« È molto probabile che fino ad una certa distanza dall'equatore *sia più facile la comunicazione est-ovest* che quella nord-est (v. pag. 301), lo strato essendo più compatto nella direzione dei paralleli che in quella dei meridiani.... ».

Quanto precede rappresenta un materiale eminentemente teorico ed ipotetico basato quindi su un numero esiguo di dati esperimentali.

Tuttavia nelle numerose esperienze condotte in ogni paese troviamo spesso notevoli concordanze.

La propagazione delle onde lunghe. — Possiamo chiamare *lunghe* le onde superiori ai 200-500 metri.

Numerose ed importanti sono le esperienze condotte dalle Nazioni

civili allo scopo di indagare il complesso fenomeno della propagazione attorno alla terra.

Fra tanto materiale esperimentale scegliamo quello più interessante e più recente, frutto di comunicazioni a grande e a grandissima distanza, che può considerarsi come l' espressione della nostra moderna conoscenza nella trasmissione senza fili usante frequenze relativamente basse (1).

La prima constatazione esperimentale, trovata da Vallauri e constatata a distanza relativamente grande, è quella che i valori *misurati* sono costantemente maggiori *di quelli calcolati* in base alle espressioni matematiche relative alla *diffrazione* (2).

Da ciò deriva che *l' effetto diffrazione è insufficiente a spiegare la curvatura delle onde attorno alla terra non appena la distanza è notevole.*

In pratica si è stabilito che oltre i 1000 chilometri esso diventa trascurabile, mentre comincia a predominare l' effetto di rifrazione (e riflessione) che è il solo da considerare oltre i 2000 chilometri.

La differenza fra propagazione diurna e propagazione notturna appare molto piccola quando la lunghezza d' onda sorpassa i 10 chilometri e sebbene quasi tutte le misure mostrino la benefica influenza della notte sull' intensità di ricezione, tuttavia esistono casi di migliore ricezione diurna.

I dati esperimentali sono invece concordi nell' affermare che:

L' intensità dei segnali durante il giorno è molto più costante di quella durante la notte.

Infatti l' intensità diurna può praticamente rappresentarsi con una linea retta se fra le due stazioni esiste un notevole percorso in piena luce. Questa retta si trasforma in una curva regolare quando le ore di luce interposte diminuiscono, curva che presenta un massimo a metà del periodo di tempo ccmpreso fra il tramonto al ricevitore e la nascita del sole al trasmettitore (3), *e un minimo quando fra trasmettitore e ricevitore si trova un periodo crepuscolare* (levata del sole o tramonto).

Quando la propagazione si effettua in gran parte o totalmente nell' oscurità l' intensità dei segnali misurati è variabile sia nelle varie ore

(1) Vedi specialmente: Round, Eckersley, Tremellen e Lunnon: *Report on measurements made ou signal strength at great distances during 1922 and 1923 by an expedition sent to Australia.*

(2) A distanza ridotta invece 500-600 chilometri la differenza fra i valori calcolati e quelli misurati è minore, mentre a piccola distanza 3-400 chilometri i primi risultano leggermente maggiori dei secondi.

(3) Così (esprimendo le ore in tempo medio) se il sole tramontasse al ricevitore alle 24 e nascesse al trasmettitore alle 10, il massimo di intensità si noterebbe alle 17.

della notte stessa, sia nel tempo (stagioni ed anni), così che è impossibile esprimerne l'andamento con una curva caratteristica.

La propagazione notturna è caratterizzata principalmente da due fatti tanto più importanti quanto *meno lunghe* sono le onde impiegate.

Il primo è rappresentato da irregolari aumenti o diminuzioni dei segnali che si attribuiscono ad interferenza.

Il secondo da una « distorsione » delle onde stesse così che la direzione loro viene ad essere apparentemente modificata, distorsione che si attribuisce a variazione dell'angolo di polarizzazione (1).

Collegato allo studio della variazione diurna e notturna del campo e. m. a distanza è quello relativo all'attenuazione determinata dalla terra e dall'atmosfera.

L'assorbimento dovuto alla presenza della terra potrebbe essere determinato soltanto se si conoscesse quello dovuto all'atmosfera; il calcolo però anche ammettendo le peggiori condizioni di esperienza riesce a stabilire che questa quantità è assolutamente trascurabile quando la lunghezza d'onda supera i 5-6 mila metri e la distanza del trasmettitore è notevole.

In questo caso infatti si può considerare la perturbazione eterea come regolarmente distribuita fra la superficie terrestre e lo strato superiore ionizzato, così che le correnti indotte nel suolo e quindi le perdite risultano esigue. Nelle immediate vicinanze del radiatore, invece, quando cioè le vibrazioni sono ancora molto prossime alla terra, e quindi capaci di indurre intense correnti in questa, la natura del suolo ha un effetto notevole sull'assorbimento.

Le svariatissime condizioni degli strati atmosferici più o meno ionizzati rendono ancora più complessa la ricerca della percentuale di attenuazione dovuta alla propagazione spaziale. Essa dovrebbe però essere considerevole soltanto nel caso di onde molto lunghe, come infatti hanno provato in pratica l'esigua intensità dei segnali di Bordeaux su 23 mila metri e l'esito negativo delle comunicazioni a grande distanza su onde maggiori (v. pag. 271).

Si stabilisce quindi che:

Con onde da 6 a 20 mila metri l'assorbimento da parte della terra e dell'atmosfera è relativamente piccolo.

L'esperienza conferma infatti che l'affievolimento di onde e. m. (superiori ai 6 mila metri) dovuto a cause terrestri ed atmosferiche,

(1) Ciò cagiona notevoli errori nella radiogoniometria (v. pag. 225), che riesamineremo in seguito.

non supera del 50 per cento quello che si potrebbe calcolare ammettendo il caso teorico di propagazione (v. pag. 280).

Quando la potenza del radiatore è notevole e la distanza dal ricevitore si avvicina alla semi-circonferenza terrestre si cominciano a notare strani effetti d' interferenza.

Recentemente a soli 12 mila chilometri dal trasmettitore si notò che i segnali di questo divenivano inintelligibili per varie ore del giorno quando si usava un semplice aereo verticale, mentre rimanevano perfetti con un sistema *unidirezionale* di aereo.

La cosa è stata spiegata molto semplicemente, ammettendo una propagazione tanto per la via più corta (12 mila km.) che per la più lunga (28 mila).

In questo caso i segnali che pervengono al ricevitore da vie così differenti in lunghezza (16 mila km.) non sono affatto contemporanei o sincroni, ma separati da un intervallo apprezzabile di tempo, sufficiente a rendere indecifrabile una veloce trasmissione telegrafica.

L' ipotesi riceve una evidente conferma nella ricezione di un segnale continuativo (non interrotto o modulato, cioè) la quale non presenta alcuna anormalità.

Non è ancora ben chiaro se lo stesso fenomeno che si verifica anche agli antipodi o nei pressi degli antipodi abbia identica origine. Si è più inclinati a credere che in questo caso la distorsione è dovuta principalmente ad interferenza di onde e. m. giungenti per cammini in condizioni fisiche differenti (diurne e notturne, per esempio) se pure di identica lunghezza.

Agli antipodi della stazione emittente si nota infatti un forte aumento dei segnali che in certo qual modo si sommano per differenti vie.

Il fenomeno della variazione rapida di intensità dipende quindi molto probabilmente da eventuali se pur piccole differenze di cammino delle vibrazioni considerate.

In caso di simmetria assoluta dei vari percorsi, le ideali superfici d' onda attorno agli antipodi si dovrebbero disporre concentricamente a questi; ma basta la più piccola differenza di cammino o di frequenza per modificare il sistema, dando origine a periodiche variazioni di intensità, sufficienti per rendere illegibili i più forti segnali.

Per spiegare la maggior parte delle caratteristiche della propagazione a distanza delle onde lunghe or ora esaminate riesce molto utile ammettere lo strato ionizzato superiore.

Questo, durante il giorno non ha una superfice ben definita e si

presenta come buon riflettore soltanto pei raggi che incidono molto inclinati su di lui (non superiori a 3°-4° secondo varie esperienze).

Sono soltanto questi raggi che vengono utilizzati nella trasmissione diurna, mentre di notte la superficie ben definita dello strato superiore permette una efficace riflessione anche sotto angoli d' incidenza relativamente grandi (sull' orizzonte).

In questo modo si deduce esperimentalmente che l' altezza dello strato diurno si aggiri sui 40-50 km., dato questo, variabile nelle varie ore del giorno, stagioni ed anni a cagione della variabile influenza del sole.

Sì è notato infatti che le peculiarità della trasmissione variano tanto passando dall' estate all' inverno quanto cambiando la latitudine del posto d' osservazione, col variare cioè della inclinazione dei raggi solari rispetto alla terra e quindi dell' azione ionizzante del sole stesso sulla nostra atmosfera.

Le esperienze al riguardo ammettono concordi che *il rendimento diminuisce con la ionizzazione* e quindi esso è minimo d' inverno e nelle alte latitudini.

L' altezza dello strato notturno è più difficilmente calcolabile; dai dati che la lunga pratica delle onde lunghe ci fornisce è possibile fissarla a qualche centinaio di chilometri.

Nello studio ad essa relativo hanno contribuito in parte le ricerche sugli errori notturni nella radio-goniometria.

A distanza dal radiatore non esistono che le onde riflesse secondo un angolo molto piccolo sull' orizzonte. Si deduce col calcolo che la « *forma* » di queste è normale finchè l' altezza dello strato non supera un minimo determinato e relativo alla frequenza usata, ma che per altezze maggiori subentrando effetti di riflessione sotto angoli molto più grandi, le onde che ritornano alla terra risultano deformate o *distorte*.

Questa distorsione si attribuisce ad un cambiamento dello stato di *polarizzazione* delle onde stesse le quali presenterebbero nei casi comuni della pratica la forza elettrica orizzontale anzichè verticale o per lo meno ruotata di un certo angolo rispetto a questa posizione ([1]).

La spiegazione del perchè durante il giorno gli errori radiogoniometrici

([1]) Sappiamo che cosa si intende per polarizzazione (v. pag. 46). Ora, poichè forza elettrica e magnetica sono esattamente perpendicolari, può apparire strana la definizione di polarizzazione orizzontale o verticale di un' onda e. m. che è originata dal complesso indivisibile delle due forze.

Occorre tuttavia ricordare che si è convenuto di dire *polarizzata verticalmente l' onda e. m. che ha componente elettrica verticale.* Polarizzata orizzontalmente dicesi invece l' onda e. m. con componente magnetica verticale.

sono molto meno sensibili che di notte, starebbe nel fatto che in questo caso lo strato superiore basso e mal definito impedirebbe l'uso di raggi molto inclinati e con ciò una notevole variazione del loro angolo di polarizzazione.

Un' altra conferma di ciò sta nel fatto che nei rilievi a grande distanza, dove le vibrazioni di grande angolo sono necessariamente eliminate per le innumerevoli riflessioni subite fra terra e atmosfera, i risultati sono pressochè perfetti.

Un altro interessante effetto pure attribuibile agli strati conduttori della alta atmosfera è quello di una trasmissione migliore nella direzione est-owest anzichè in quella nord-sud. Esso è stato chiamato *effetto est-owest*.

Non possiamo trovare in ottica un paragone a questo effetto per l'assoluta *reciprocità* dei fenomeni che in questo caso si verificano ([1]). In acustica invece è bèn noto che la propagazione è facilitata quando è concorde con la direzione del vento.

Il Thompson suppose analogamente la propagazione attraverso una « *nube* » di elettroni in movimento e quindi facilitata o contrastata a seconda della discordanza o concordanza dei due movimenti.

Un' onda e. m. in movimento esercita su un eventuale gruppo elettronico interposto una forza tendente ad obbligarlo nel suo stesso cammino ([2]).

Ora se questo gruppo si muove in senso concorde, per azione di un' altra forza (cosmica p. e.) l'energia impiegata a muoverlo è naturalmente minore e quindi minore risulta l'attenuazione dell'onda stessa, mentre nel caso contrario l'energia maggiore spesa renderebbe ragione della diminuzione dei segnali.

La necessità di un grande numero di elettroni dotati di velocità simili a quella della luce e situati nella parte relativamente bassa dell'atmosfera, è l'argomento che più contrasta l'ipotesi.

Essa ammette in definitiva che uno stuolo di elettroni venga proiettato continuamente nella direzione est-owest favorendo così la propagazione in questo senso.

Poichè la propagazione delle onde lunghe è notevolmente influenzata dalla presenza degli strati superiori della atmosfera, le caratteristiche dei

([1]) Così se una sorgente di luce manda in B da A una intensità luminosa I, la stessa cosa si verificherebbe collocando la sorgente in B e misurando l'intensità in A.

([2]) Per comprendere perchè un' onda elettromagnetica (manifestazione vibratoria) può determinare un movimento *in una sola direzione* occorre pensare che quando la forza elettrica è massima (supponendo, ad esempio, una polarizzazione orizzontale) essa tende a portare con se gli elettroni del mezzo attraversato e allorchè essa (forza elettrica) cambia segno è la forza magnetica che li favorisce, tanto che questi sono costantemente sollecitati in una direzione.

quali sono principalmente determinate dalla disposizione di ioni ed elettroni e poichè su questi agisce notoriamente il campo magnetico terrestre, si deve trovare una relazione fra le variazioni di quest' ultimo e le particolarità di propagazione.

Due sono gli effetti principali che il campo magnetico terrestre può determinare su un' onda e. m.

Il piano di polarizzazione di un' onda e. m. che attraversa un mezzo contenente ioni ed elettroni liberi e che è trasmessa nella direzione di un campo magnetico è più o meno *ruotato* a seconda dell' intensità del campo e della quantità di particelle elettrizzate presenti.

Essa è d' altra parte tanto più notevole quanto più radi sono gli urti reciproci dei ioni o in altri termini quanto più lunga è la « durata » media di ciascuno di essi.

Ciò si verifica specialmente nell' alta atmosfera (v. pag. 291) quindi gli effetti di rotazione debbono essere molto più notevoli di notte, come infatti dimostrano le esperienze radiogoniometriche.

L' assenza di errori durante il giorno sta poi a provare che le collisioni sono così frequenti da impedire o rendere addirittura trascurabile la rotazione. Ciò prova che la densità degli strati diurni ionizzati è ancora notevole ($\pm$ 1/500 atm.) e quindi che lo strato diurno è relativamente basso.

L' altro effetto è quello di una variazione di resistenza (e quindi di attenuazione) che un mezzo contenente elettroni liberi subisce quando su questo agisca un campo magnetico longitudinale o trasversale.

In pratica l' effetto del campo magnetico terrestre sarebbe quello di attenuare più o meno le onde e. m. a seconda che queste si muovono trasversalmente o longitudinalmente alla sua direzione.

Numerose altre caratteristiche presenta la propagazione di *onde lunghe* attorno alla terra e numerose altre saranno in seguito scoperte: questo riassunto ha lo scopo di rendere più comprensibile il materiale che segue di esperienze ed ipotesi sulla propagazione di *onde corte.*

La propagazione di onde corte. — Lo studio delle onde corte sembra destinato ad approfondire la nostra conoscenza relativa alla propagazione radio-elettrica attorno alla terra.

E se è ben vero che teorie ancora in elaborazione ed ipotesi possono alle volte sviare la spassionata ricerca esperimentale, è tuttavia indispensabile conoscere almeno per sommi capi quanto oggi si pensa sull' argomento e fino a che punto si è *tentato* di rendere evidente il complesso insieme di fenomeni che regola la trasmissione hertziana con frequenze molto elevate.

A questo scopo cercherò di riassumere quanto traspare dai più recenti lavori, tralasciandone la parte esclusivamente matematica, che ci porterebbe troppo oltre e che gli studiosi potranno tuttavia trovare nelle opere citate in fine al capitolo.

Che il parere dei tecnici sulla poca efficienza di onde dell'ordine dei 200 metri fosse giusto sembra oggi abbastanza provato sia dall'esperienza che dalla teoria, le quali ammettono concordi che nei pressi dei 200 metri d'onda, il rendimento radiotelegrafico è dei più esigui.

Ma che questo limite inferiore d'utilizzazione fosse a sua volta inizio di una nuova gamma, capace di dare dei risultati molto più notevoli, fu scoperto soltanto da qualche anno e ha dato origine alla tecnica delle onde corte.

Questa, basandosi su calcoli ed esperienze, ha già stabilito un secondo limite, negando cioè ogni possibilità pratica di comunicazione a distanza con onde inferiori ad 8-10 metri.

È tuttavia compito dell'esperienza e del futuro il provare o no la possibilità di sfruttamento di una gamma di onde ancora più corte.

Riassumendo i più salienti fenomeni che si verificano col diminuire della lunghezza d'onda, possiamo esprimerli con buona approssimazione

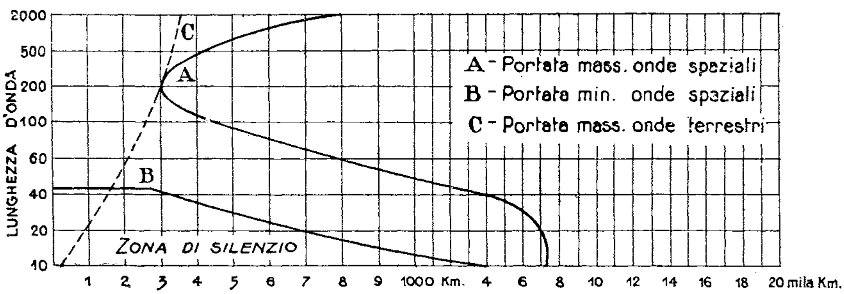


Fig. 304.

con le curve della fig. 304, che rappresentano la portata in funzione della λ quando tutte le caratteristiche del radiatore rimangono invariate (¹) e la direzione di propagazione è quella nord-sud (²).

Esaminando la fig. 304 (portate diurne) ci accorgiamo che col diminuire della λ (al di sotto dei 2000 metri) la portata va gradualmente diminuendo fino a ridursi ad un esiguo valore nei pressi dei 200 metri.

(¹) A. H. Taylor - *Proc. Radio Eng.*, vol. 13, dec. 1920.

(²) La comunicazione nord-sud semplifica grandemente il fenomeno perchè non esistono differenze *orarie* rispetto al sole, e quindi il grado di illuminazione è pressochè costante per tutto il percorso.

Ma diminuendo ancora, invece della prevista graduale diminuzione successiva, si nota un comportamento esattamente opposto: la portata cioè *ricomincia ad aumentare* per ritornare al valore primitivo ed anzi per superarlo nei pressi dei 60 metri.

Diminuendo ancora, la portata continua a crescere regolarmente, ma nello stesso tempo si verifica lo strano fenomeno di ricezione negativa in una zona più o meno vasta attorno al trasmettitore. Questa che fu detta « zona neutra » (v. pag. 279) è spesso distinta col nome di « zona saltata » (dall' inglese *skip-distance*); e la sua estensione aumenta col diminuire della λ a parità di ogni altra condizione (ora del giorno, stagione ecc.).

La curva ci mostra infatti che per onde molto corte l' estensione della zona saltata è molto grande e che allo stato attuale d' esperienza diventa grandissima o addirittura illimitata quando la λ è minore di 8-10 metri.

La fig. 305 è analoga alla 304, ma esprime le portate massime notturne, anzichè quelle diurne ([1]).

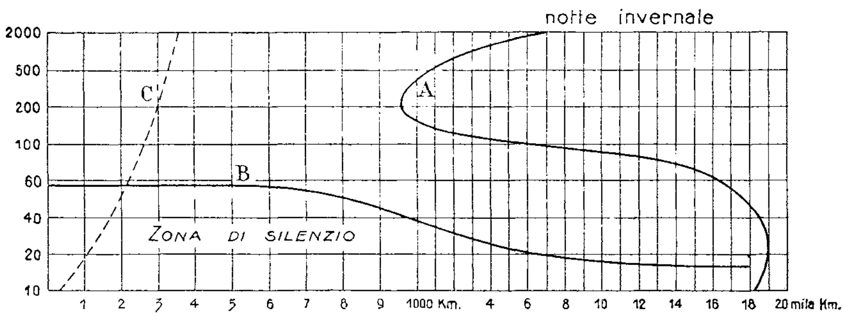


Fig. 305.

Si nota anzitutto come la portata di onde dell' ordine dei *cento* metri sia già superiore a quella ottenibile con qualsiasi onda maggiore e che l' aumento raggiunge il suo massimo e si mantiene abbastanza costante al di sotto dei 50 metri, mentre il minimo risulta ancora nei pressi dei 200 metri.

D' altra parte la zona saltata viene ad essere rivelata molto prima che nel caso diurno, e già con onde di 60 metri essa è chiaramente scopribile. Col diminuire della λ essa si dimostra molto più vasta che

([1]) Le portate segnate significano distanze alle quali è possibile un traffico regolare e commerciale. Esse sono tuttavia molto inferiori a quelle che effettivamente si possono ottenere in pratica.

nel caso diurno, e sembra divenire illimitata nei pressi dei 15 metri di lunghezza d'onda, quando si esperimenti durante una notte invernale.

Onde terrestri e spaziali. — Quanto precede esprime sommariamente la nostra attuale conoscenza sul comportamento delle onde corte, ed appunto su questi dati si sono basate le teorie cui stiamo per accennare.

Consideriamo ad esempio un'emissione eseguita su 20 metri d'onda.

Allontanandoci dal radiatore, troviamo che l'intensità del campo e. m. va gradualmente diminuendo per rendere impossibile la ricezione al di là dei 50-60 chilometri [1].

Il calcolo basato sull'esperienza delle onde lunghe ci darebbe appunto uua portata di quest'ordine per una potenza di qualche chilowatt e per la lunghezza d'onda usata.

Questo ci prova che la propagazione si effettua in modo analogo a quella con onde lunghe e cioè a mezzo di onde superficiali che si propagano vicinissime alla terra. Infatti le correnti indotte dalle onde nella terra reagiscono alla loro volta su queste, mantenendole aderenti alla superficie ed obbligandole a seguirne gli ostacoli.

Nelle pagine precedenti si disse che nel caso delle onde lunghe le perdite che subisce una vibrazione in movimento possono attribuirsi:

a) ad insufficiente rifrazione sullo strato ionizzato cagionata da raggi in partenza troppo inclinati rispetto all'orizzonte;

b) a perdite nel mezzo ionizzato stesso cagionate da collisioni fra gli ioni e gli elettroni sollecitati dalle onde e. m.;

c) all'imperfezione del mezzo « terra », per la quale le correnti in esso indotte vengono in gran parte dissipate in calore.

È a quest'ultima causa che noi dobbiamo attribuire l'attenuazione delle nostre onde superficiali a qualche decina di chilometri dal radiatore; possiamo quindi distinguere la parte di energia così impiegata come componente *terrestre* di radiazione.

Essa è rappresentata dalle vibrazioni che partono con un angolo molto piccolo sull'orizzonte e diventa trascurabile o nulla non appena si entra nella zona di silenzio.

Ma quando oltre i 500 chilometri si nota un rapido aumento dei segnali che fino allora erano apparentemente scomparsi, si ha la prova

[1] I dati relativi alla « zona di silenzio » sono ancora molto incerti per la mancanza di osservazioni in variati punti terrestri. Si ha infatti ragione di ritenere che sulla sua natura influiscono non poco la posizione geografica, la natura del suolo e la sistemazione del radiatore.

che parte dell'energia irradiata ha seguito un'altra via, nella quale l'assorbimento e quindi l'attenuazione sono molto ridotti.

Ora nelle zone dell'alta atmosfera l'assorbimento è esclusivamente determinato da collisioni fra ioni ed elettroni, ed è tanto minore quanto più notevole è la rarefazione.

Allora le onde che si propagano nell'alta atmosfera saranno meno assorbite di quelle superficiali e raggiungeranno con notevole intensità grandi distanze.

Si ha ragione di ritenere che in questo modo, ciò a mezzo di *onde spaziali* si propagano le vibrazioni di frequenza molto elevata.

Ammettendo quindi una propagazione esclusivamente spaziale, il concetto principale del quale occorre rendersi ragione, è quello della necessaria curvatura attorno alla terra.

Analogamente a quanto si fece nel caso di onde lunghe, applicando i concetti dell'ottica relativi alla riflessione e alla rifrazione, si può rendere la cosa sufficientemente semplice e chiara.

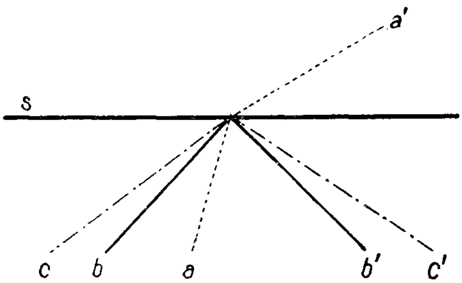


Fig. 306.

Riferendoci ad un caso molto comune di ottica, consideriamo che cosa succede quando un raggio luminoso passa da un mezzo in un altro, dove la velocità di propagazione è maggiore (fig. 306).

Se consideriamo il raggio *a* che incide molto inclinato su *s* (superficie di separazione dei due mezzi), notiamo che questo viene in parte riflesso e in parte passa oltre (*a'*), avvicinandosi alla superficie stessa, e cioè rifrangendosi.

Ma variando l'angolo che *a* fa con *s* si trova che per un certo valore di questo la parte rifratta non esiste, e quindi il raggio è totalmente riflesso senza riuscire ad attraversare *s* (*bb'*).

Questo angolo dicesi di *riflessione totale* e il suo valore dipende dal rapporto delle velocità di propagazione nei due mezzi e dalla frequenza.

Allora conoscendo questo rapporto e cioè l'indice di rifrazione relativo a due mezzi qualunque, è possibile calcolare l'angolo di riflessione totale, o viceversa dalla conoscenza di entrambi i fattori è possibile dedurre la velocità nei due mezzi.

Applicando quanto precede al nostro caso vediamo che i raggi che

partono con un piccolo angolo dal radiatore vengono soltanto leggermente deviati e quindi ritornano sulla terra in punti molto lontani.

Possiamo trovare l'analogia ottica considerando i raggi c e c' della fig. 306.

Per angoli maggiori il punto di ritorno si avvicina sempre più finchè si raggiunge un *angolo critico* per il quale corrisponde il punto di ritorno più vicino al radiatore.

Nel caso ottico si chiamò questo, angolo di riflessione totale (raggi bb').

Aumentando ancora l'inclinazione i raggi elettromagnetici *penetrano* nel mezzo a velocità maggiore e quindi si rifrangono gradualmente. Essi ritornano sulla terra in punti molto lontani, tanto più lontani quanto più l'angolo di incidenza si avvicina a 90° (1).

Questo è quanto l'ottica ci può suggerire sulle particolarità di propagazione di onde esclusivamente spaziali. Prima deduzione importante è che queste *non possono raggiungere punti più vicini al radiatore di un minimo determinato,* minimo variabile con l'altezza dello strato ionizzato e quindi con le innumerevoli condizioni che influenzano la trasmissione a distanza.

Conseguenza di questa affermazione è che *a distanza relativamente ridotta dal radiatore si debbono rivelare segnali più deboli che a grande distanza.*

La zona di silenzio. — Sebbene fino dai primordi della radiotelegrafia si fosse esperimentalmente e spesso notato un comportamento di questo genere, ciò non fu preso in considerazione fino ai nostri giorni, fino a quando cioè le esperienze con onde molto corte mostrarono un affievolimento così grande a media distanza dal trasmettitore, da rendere i segnali praticamente nulli.

La cosa che apparve così strana al principio, ricevette ben presto la sua semplice e naturale spiegazione; dell'esistenza cioè di un fattore capace di mascherare gli effettivi risultati dell'esperienza.

Infatti le onde superficiali o terrestri nei pressi del radiatore sono predominanti e nel caso di onde lunghe si attenuano così lentamente, da rappresentare anche a grande distanza, buona parte dell'energia ricevuta.

Sono esse quindi che colmano il vuoto lasciato dalla componente spaziale e ciò tanto più efficacemente quanto meno corta è la loro lunghezza.

Ma col diminuire di questa l'assorbimento terrestre aumenta tanto

(1) Molto prima però di raggiungere questo limite i raggi risultano così poco deviati da non potere più raggiungere la terra disperdendosi quindi negli spazi.

rapidamente da riuscire ad annullarle ancor prima del ritorno dall'atmosfera della componente spaziale: in questo caso deve esistere effettivamente una zona nella quale la ricezione è nulla o per lo meno molto incerta.

È questa la *zona saltata o di silenzio* che le più recenti esperienze ci hanno mostrato.

Lo studio delle sue caratteristiche (estensione, variazioni ecc.) è senza dubbio di prima importanza nelle indagini sulla propagazione ed indirettamente nella ricerca delle qualità fisiche dell'alta atmosfera.

Meccanismo della rifrazione. — Usando onde e. m. corte la rifrazione dei raggi attribuibile a cause fisiche (densità, qualità ecc. dell'atmosfera) è assolutamente trascurabile per spiegare il ritorno sulla terra delle vibrazioni spaziali.

Allo stato attuale delle nostre conoscenze possiamo ottenere attendibili risultati soltanto attribuendola a cause e. m., analogamente a quanto si suppose nel caso di onde lunghe (v. pag. 299).

Ma la teoria di Eccles che supponeva uno strato superiore così intensamente ionizzato da riflettere completamente le vibrazioni incidenti le quali d'altra parte e specialmente di giorno, venivano anche rifratte da strati inferiori, richiedeva un numero grandissimo di ioni per unità di volume, numero che come dicemmo fu uno dei primi argomenti ad infirmarla.

Il Larmor, modificando la teoria di Eccles, suppose che la rifrazione non fosse affatto dovuta a movimento di pesanti ioni, ma che essa si verificasse nell'alta atmosfera, là dove soltanto elettroni si trovano in grande copia e dove la grande rarefazione rendendo minime le collisioni di questi con ioni e atomi, riduce l'assorbimento a quantità trascurabili.

Ci è noto che quando un'onda e. m. attraversa un mezzo contenente elettroni essa obbligando questi ultimi a muoversi, acquista una velocità maggiore di quella che assumerebbe nel vuoto (v. pag. 293).

Ora se noi ammettiamo che tutta l'energia ceduta dalla vibrazione agli elettroni non possa nè accumularsi nè dissiparsi minimamente in questi, essa viene impiegata totalmente ad accelerarli.

In questo caso qualunque sia la frequenza dell'onda si avrebbero a notare effetti analoghi di rifrazione.

In pratica però, se pure è possibile trascurare le collisioni fra elettroni ed elettroni, occorre considerare quelle che si verificano fra elettroni ed atomi o ioni. Infatti quando un elettrone cozza con una particella pesante egli cede tutta la sua energia che si trasforma in vario modo

e non può quindi ritornare più alla vibrazione che l'aveva ceduta allo elettrone stesso.

L'assorbimento di energia che così si verifica è differente a seconda che la collisione avviene quando l'elettrone ha raggiunta la massima accelerazione o prima. I due casi accadono rispettivamente se ad ogni periodo dell'onda corrisponde un numero piccolo o grande di collisioni. È evidente infatti che quando il numero di collisioni è ridotto, i corpuscoli elettrizzati possono acquistare una velocità apprezzabile fra una e l'altra di queste, mentre ciò è impossibile nel caso contrario.

Se si stabilisce che il numero di collisioni sia, in determinate condizioni di tempo e di luogo, una costante, si comprende chiaramente che l'assorbimento di energia e quindi *le particolarità della rifrazione dipendono dalla frequenza dell'onda irradiata.*

Dai calcoli di Larmoı si deduce infatti che l'effetto di rifrazione è tanto minore quanto minore è la lunghezza d'onda impiegata.

Ma la stessa teoria, che parve alcuni anni sono fornire attendibili spiegazioni dei casi verificati in pratica, non riuscì a spiegare le particolarità di propagazione di onde inferiori ai 50 metri. Queste anzichè essere così poco rifratte da non ritornare più sulla terra, come la teoria faceva prevedere, lo erano invece e spesso in grado maggiore delle altre.

Si pensò allora che esistesse una *frequenza critica* (nei pressi dei 200 metri d'onda) per la quale si presentassero particolarità speciali di propagazione.

L'Appleton infatti suppose che gli elettroni dell'alta atmosfera sotto l'azione del campo magnetico terrestre si muovessero descrivendo traiettorie circolari ed elittiche.

Egli ammettendo un'intensità media del campo magnetico terrestre di 0,5 Gauss trovò che la lunghezza d'onda critica cioè di frequenza analoga a quella di rivoluzione dei corpuscoli elettrizzati si aggira sui 214 metri, dato questo, in notevole coincidenza coi risultati pratici che dimostrano come il minore rendimento radiotelegrafico si nota nei pressi dei 200 metri d'onda.

Pure ammettendo che l'attenuazione subita dalle onde e. m. che attraversano l'atmosfera sia essenzialmente dovuta a collisioni fra corpuscoli elettrizzati, troviamo valori praticamente trascurabili anche per punti relativamente bassi dove, per l'aumentata densità, il numero delle collisioni è notevole.

Ciò, tuttavia, finchè la frequenza è molto alta o per lo meno sufficientemente distante da quella critica: in questo caso invece (nei pressi di 214 metri d'onda, cioè) l'assorbimento acquista un'importanza molto

notevole e complica in modo difficilmente immaginabile le possibilità di calcolo.

Riferendoci ad onde più corte e trascurando quindi l'assorbimento, troviamo col calcolo che l'insieme degli elettroni obbligati a muoversi dall'onda che attraversa il mezzo, è in tutto paragonabile ad una corrente elettrica di spostamento in un condensatore e di caratteristiche opposte così da fare risultare inferiore la costante dielettrica del mezzo ammessa equivalente all'unità (v. pag. 293).

Questa diminuzione è tanto più notevole quanto maggiore è il numero di elettroni per unità di volume e quanto più intensa la loro carica e quanto minore la loro massa.

Ora, poichè la velocità di un'onda e. m. in un mezzo qualunque è proporzionale al prodotto della permeabilità di questo per la costante dielettrica, se quest'ultima risulta inferiore la velocità deve necessariamente aumentare.

D'altra parte, poichè l'indice di rifrazione non è altro che il prodotto della velocità della luce nel vuoto per quella nel mezzo considerato esso riesce tanto inferiore all'unità quanto maggiore è questa seconda velocità.

Lo strato ionizzato dell'alta atmosfera tende quindi a ridurre a zero l'indice di rifrazione.

Allora, a seconda della densità dell'atmosfera, della quantità di elettroni per unità di volume, della loro carica e della loro massa, e della λ, varia l'indice di rifrazione così che l'energia irradiata nello spazio e in ogni direzione riesce più o meno efficacemente rimandata sulla terra.

Particolarità di polarizzazione. — Sappiamo dall'ottica che un raggio luminoso dopo riflessione o rifrazione risulta più o meno polarizzato (v. pag. 46).

Nel nostro caso supponendo l'irradiazione di onde polarizzate piane (orizzontali o verticali) si possono calcolare differenti modi di polarizzazione a seconda che si considerano direzioni parallele o trasversali al campo magnetico terrestre.

Nel primo caso (ammettendo sempre le condizioni più semplici) l'onda incidente si suddivide in due componenti polarizzate circolarmente in direzioni opposte, le quali presentano differenti indici di rifrazione e quindi si propagano e rifrangono diversamente nei vari mezzi attraversati.

A distanza piccola dal radiatore, quando cioè gli effetti della rifra-

zione sono ancora trascurabili, esse possono considerarsi come un' unica vibrazione polarizzata elitticamente, se l' intensità loro è differente; mentre nel caso di identità assoluta l' onda risultante è di nuovo polarizzata secondo un piano, che presenta rispetto al primitivo, una certa rotazione.

A grande distanza invece, a cagione del differente indice di rifrazione, le componenti polarizzate circolarmente si fanno ben distinte, così da poter influenzare in vario modo i ricevitori.

Considerando invece la propagazione che si effettua ortogonalmente al campo magnetico terrestre, l' onda piana alla partenza si divide in due componenti con forza elettrica parallela e ortogonale alla direzione del campo stesso.

Anche in questo caso finchè la distanza è piccola le due componenti si uniscono per formare un' onda polarizzata elitticamente mentre a grande distanza esse risultano di nuovo separate.

Quando però la propagazione si effettua secondo un certo angolo (compreso fra 0° e 90°) rispetto alla direzione del campo magnetico terrestre, si verificano contemporaneamente i due casi e si ottengono nel caso più semplice, tutte e quattro le componenti (due circolari e due piane).

Anche queste possono considerarsi unite in un' unica vibrazione polarizzata elitticamente finchè la distanza è piccola, mentre a grande distanza il differente indice di rifrazione riesce a separarle di nuovo e a presentarcele distinte.

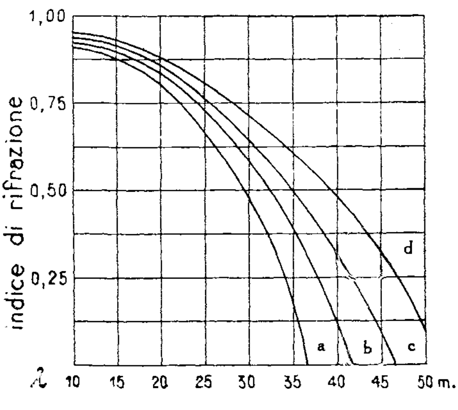


Fig. 307.

Calcolando le variazioni degli indici di rifrazione rispetto alla lunghezza d' onda e alle particolarità di polarizzazione troviamo le curve della fig. 307 pei quattro casi esaminati. Esse ci dimostrano che finchè la λ è molto corta e quindi l' indice di rifrazione relativamente prossimo all' unità, le componenti si presentano pressochè unite, mentre coll' aumentare della λ e quindi col diminuire dell' indice di rifrazione esse possono molto facilmente presentarsi separate.

Per esempio l' onda polarizzata secondo la curva *A* della fig. 307 possedendo indice nullo nei pressi di 40 metri non deve presentare la

solita zona saltata o di silenzio, mentre un'onda di lunghezza analoga ma polarizzata secondo D ne può presentare una notevole e ben definita.

Questi effetti che richiederebbero scrupolose esperienze sono molto difficili da trovare esperimentalmente a cagione della cospicua intensità della componente terrestre e dell' insieme di onde variamente polarizzate che mascherano in certo qual modo le vere condizioni che si verificano in pratica.

Tuttavia le variazioni intensissime e variabili che si notano nei pressi dei trasmettitori operanti su 40-50 metri e alle volte sul « limitare » delle zone di silenzio, starebbero a provare effetti notevoli di interferenza fra raggi più o meno inclinati o riflessi.

Alla presenza di varie componenti polarizzate in modo differente si debbono pure ascrivere i fenomeni di variazione ed errore radiogoniometrico come si accennò a pag. 225.

Teorie. — A. H. Taylor e vari altri studiosi ammettono che i raggi che ritornano alla terra non appena oltrepassata la zona di silenzio rappresentino quelli dovuti alla riflessione totale dello strato superiore. Ora, poichè esiste una relazione molto semplice fra l' indice di rifrazione e l' angolo di riflessione totale (v. pag. 306), è possibile una volta conosciute le dimensioni della zona neutra e, ad esempio, l' indice di rifrazione relativo ai due mezzi dedurre l' altezza dello strato di separazione o, una volta supposta un' altezza determinata, dedurre il valore dell' angolo e dell' indice.

In questo caso, adottando valori di « zone di silenzio » trovati in pratica si viene a stabilire un' altezza dello strato di 250 chilometri circa ed una densità di 400 mila elettroni per centimetro cubo, densità che può d' altra parte calcolarsi, con concordanza notevole, per altra via.

Trovato in questo modo che l' altezza dello strato è proporzionale alla distanza saltata, è evidente che essa sarà, durante la notte, tre o quattro volte maggiore di quella diurna, poichè si nota appunto un aumento di quest' ordine nella zona di silenzio.

Col diminuire della λ l' angolo di riflessione totale si avvicina a 90° così che *anche i raggi emessi pressochè orizzontalmente dal radiatore verrebbero così poco riflessi da non ritornare più sulla terra.*

Questo si verifica, per i valori ammessi e calcolati dal Taylor e da altri, nei pressi dei 10-14 metri di lunghezza d' onda ma varia tuttavia con le innumerevoli condizioni che determinano l' altezza dello strato superiore.

Ma è difficilmente immaginabile in pratica uno strato ionizzato con una superficie *ben definita.*

È molto più semplice supporre una densità elettronica gradualmente crescente con l'altezza fino a raggiungere un massimo per diminuire quindi di nuovo come si è fatto a pag. 291.

In questo caso però non è più di riflessione che si deve parlare, cioè di un percorso in linea retta bruscamente deviato ma bensì di vera e propria rifrazione ovvero di incurvatura graduale di raggi dovuta a l'aumento di velocità con l'allontanarsi dal suolo.

Che l'effetto rifrazione predomini anzichè quello di riflessione è provato anche dal fatto che l'inizio della zona di silenzio è ben marcato.

Ora se si suppone che i primi raggi ricevuti dopo di questa rappresentano quelli riflessi secondo l'angolo di riflessione totale, nella zona stessa esisterebbero raggi riflessi secondo angoli minori. Il rendimento della riflessione sarebbe minore ma in ogni caso la zona saltata non sarebbe già di silenzio ma di ricezione mediocre e non si dovrebbe allora notare una brusca scomparsa, dei segnali ma un graduale affievolimento.

Abbiamo visto che nel calcolo della rifrazione il fattore più importante è la conoscenza della variazione dell'indice.

Ora poichè oggi sarebbe impossibile misurarlo esperimentalmente si sono ammesse densità elettroniche variabili secondo semplici leggi fisiche come ad esempio in proporzione all'altezza, al quadrato dell'altezza, al logaritmo dell'altezza, alla radice quadrata dell'altezza ecc.

Taylor e Hulbert trovano pei primi tre casi, coincidenze notevoli coi risultati esperimentali mentre ciò non si verifica per il quarto che ammette una diminuzione della densità elettronica con l'altezza.

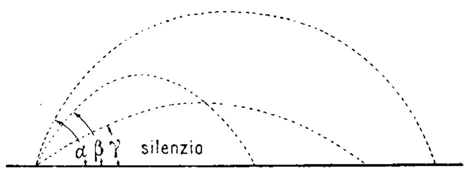


Fig. 308.

Ciò prova a sufficienza che *la densità elettronica aumenta con l'altezza.*

Si trova così che esiste un certo angolo di incidenza (fig. 308) per il quale la rifrazione riporta il raggio emesso ad una distanza *minima* dal radiatore α e che per angoli maggiori il raggio ritorna ad allontanarsi (βγ).

La teoria di Hulbert, trascurando l'effetto del campo magnetico terrestre, l'assorbimento, la presenza di ioni pesanti ecc., e ammettendo che l'altezza dello strato ionizzato rispetto al suolo sia rappresentata dalla distanza che intercede fra la superficie terrestre e i punti dove la den-

sità elettronica *comincia a diminuire* e quindi dove è massima, spiega in questo modo la particolarità di propagazione di onde corte.

Col crescere della densità elettronica l'indice di rifrazione tende a zero (aumento di velocità dell'onda), così che un raggio hertziano diretto contro lo strato (sia pur normalmente) attraversa con velocità crescente zone d'indice di rifrazione sempre minore finchè raggiunge il punto ove l'indice stesso si annulla e quindi viene totalmente riflesso o rifratto verso il suolo.

Questo nel caso di onde da 60 a 200 metri le quali vengono totalmente riflesse qualunque sia l'angolo di incidenza (1).

Invece al di sotto dei 50 metri l'indice zero non può esistere poichè occorrerebbe una densità elettronica molto maggiore di 400 mila. In questo caso per riavere sulla terra i raggi diretti contro lo strato, occorre che questi siano sufficientemente inclinati rispetto alla verticale.

Quanto più l'onda è corta tanto più prossimo all'unità rimane l'indice di rifrazione così che l'angolo di incidenza deve sempre più avvicinarsi all'orizzonte.

Esiste però un limite come più volte si è accennato rappresentato dalla λ per la quale soltanto i raggi che lasciano il radiatore pressochè orizzontalmente sarebbero rifratti a sufficienza per ritornare sulla terra.

In questo caso l'assorbimento terrestre nelle immediate vicinanze dell'antenna sia ricevente che trasmettente esercita una grandissima influenza tanto che è necessaria una sistemazione in punti molto elevati.

È prevedibile che con onde inferiori ai 10 metri occorrerebbe sistemare gli apparecchi su altissime torri per sottrarsi il più possibile alla azione della terra e potere inviare raggi inclinati al di sotto dell'orizzonte, a meno che nuovi fenomeni e scoperte non vengano a modificare le nostre supposizioni.

Nelle comunicazioni a grande distanza si suppone che i raggi che ritornano per rifrazione alla terra siano da questa riflessi verso l'atmosfera per essere rifratti di nuovo.

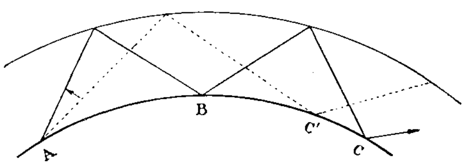


Fig. 309.

Considerando la fig. 309 supponiamo che il trasmettitore in A invii onde capaci di presentare il fenomeno della

(1) Naturalmente se l'onda è scomposta o si scompone in vari sistemi polarizzati in modo differente ognuno di questi penetrerà più o meno nello strato finchè il « suo » indice si ridurrà a zero.

distanza saltata. Sia B il punto più vicino (al di là della zona di silenzio) dove è ancora possibile la ricezione. La riflessione in B rimanda il raggio nell'atmosfera che a sua volta lo rimanda in C e così via.

Ma il fascio che parte da A non è tanto sottile da occupare una zona così ristretta dello spazio. Consideriamo il raggio più inclinato per il quale è ancora possibile una efficace rifrazione. Questo sarebbe rappresentato dalla tangente alla superficie terrestre condotta per A se l'assorbimento da parte della terra fosse trascurabile ma in pratica col diminuire della λ esso fa angoli sempre più notevoli coll'orizzonte.

Il caso considerato nella fig. 309 (raggio punteggiato) si riferisce all'uso di onde molto corte. Abbiamo allora che i raggi utilizzabili per comunicare a distanza sono compresi fra le rette continue e punteggiate.

Immediata conseguenza di questo è che non tutti i punti della terra oltre la prima zona saltata riceveranno energia sufficiente alla ricezione ma esisteranno successive zone di silenzio, specialmente subito dopo la prima ($C'C$, per esempio) che saranno tanto meno accentuate quanto maggiore è la distanza.

Questo sembra oggi provato da qualche esperienza ma ha bisogno di una successiva indagine molto scrupolosa.

Da queste idee scaturisce un altro importante fattore che influenza la trasmissione a distanza cioè la natura del terreno interposto fra ricevitore e trasmettitore *in uno o alcuni punti soltanto* là dove deve verificarsi la riflessione terrestre.

Tanto minore la lunghezza d'onda tanto minore il numero di riflessioni sia celesti che terrestri così che maggiore risulta l'indipendenza dalla natura della superficie terrestre interposta e maggiore il rendimento che è naturalmente massimo quando soltanto una riflessione celeste è necessaria per realizzare la comunicazione.

D'altra parte però se le onde ultra corte si dimostreranno inadatte a varcare le grandi distanze terrestri, soltanto ad esse potremo eventualmente affidare comunicazioni extra-terrestri o interplanetarie.

È interessante riferire quanto il Taylor recentemente scrisse:

« Per comunicazioni radio-elettriche di grande distanza, di ordine interplanetario, delle onde più corte di 40 metri sembrano le migliori per fendere la nostra atmosfera di elettroni e così quella di un altro pianeta.

« Avventurandoci ancor più nel regno delle congetture il corso di un raggio che si avvanza nello spazio interplanetario sarebbe influenzato dagli elettroni mandati dal sole. Se la distribuzione di questi fosse uniforme in ogni direzione la densità elettronica aumenterebbe verso il sole

verso il quale il raggio radio elettrico sarebbe deviato. Esso potrebbe riuscire a passare oltre dopo una piccola deviazione, o percorrere delle spirali attorno al sole fino a raggiungere una densità elettrotecnica sufficiente a farlo riflettere totalmente e infine potrebbe proseguire percorrendo spirali sempre più larghe fino ad essere libero di nuovo ».

L' evanescenza delle onde corte. — Nella pratica delle onde corte si notano due casi di evanescenza o *fading*.

Il primo costituito da una lenta variazione di intensità con periodo dell'ordine del secondo, che può essere molto notevole nei pressi del trasmettitore e che è tanto meno accentuato quanto più lunga è la λ.

Il secondo è una variazione analoga ma molto più rapida che può facilmente raggiungere un periodo acustico (oltre 100 periodi al secondo).

Ciò si nota come un cambiamento della nota nella trasmissione, che invece di apparire assolutamente pura diviene più o meno modulata e nuoce notevolmente alla purezza della trasmissione telefonica distorgendo e modificando la natura dei suoni.

Questo secondo caso si nota specialmente durante la notte piuttosto che durante il giorno e diventa pressochè trascurabile per onde superiori ai 600-800 metri.

Nelle onde da 250 a 500 metri esso è già notevole ma soltanto nei pressi del radiatore o meglio a distanza media da questo (in una zona cioè compresa fra 150 e 1000 chilometri).

Con onde relativamente corte 50-100 metri esso è pure molto intenso di notte a distanze intermedie (10-500 km.) mentre per onde molto corte, quando cominciano a notarsi le zone di silenzio, esso è soltanto rilevabile in prossimità del principio o della fine delle zone stesse.

Il primo tipo di evanescenza si attribuisce generalmente ad una distorsione del *fronte* d'onda (v. pag. 300) cagionata dal movimento e spostamento di strati ionizzati di notevoli dimensioni.

Si può paragonare la cosa all'apparente tremolio delle stelle e all'incertezza della visione al di sopra di una superficie molto calda cagionati appunto da movimenti di strati d'aria e quindi da modifiche dell'indice di rifrazione.

La spiegazione del perchè il fenomeno si verifichi notevolmente soltanto con onde corte, starebbe nel fatto che soltanto in questo caso le dimensioni delle « *nubi* » elettroniche sarebbero paragonabili a quelle delle onde e. m., mentre per onde più lunghe occorrerebbero « nubi » molto più grandi di quelle che esistono nell'atmosfera terrestre.

Anche il perchè della riduzione degli effetti del fading a grande

distanza si spiega pensando che in questo caso le innumerevoli variazioni si integrano fra loro e divengono una media costante.

Il secondo tipo di evanescenza, a frequenza acustica cioè, si ascrive generalmente a variabili condizioni di interferenza per le quali si verificano casi paragonabili a quelli che in ottica e acustica prendono il nome di battimenti (1).

Infatti al ricevitore provengono raggi da varie direzioni. Nel più semplice dei casi oltre ad onde superficiali supposte concordi arrivano onde spaziali variamente polarizzate e quindi per vari cammini.

Nelle immediate vicinanze predominando le « superficiali » non si notano variazioni, ma quando con la distanza l'intensità di queste le rende paragonabili a quelle che ritornano dall'atmosfera si debbono notare variazioni intense sia per il numero delle varie componenti che interferiscono, sia per eventuali movimenti di strati ionizzati che si modificano continuamente.

Durante il giorno per l'altezza relativamente bassa dello strato ionizzato le varie componenti sono molto prossime, e quindi l'interferenza è molto meno complessa che durante la notte, quando cioè la notevole altezza permette una buona separazione.

D'altra parte a grande distanza non si ha un'effettiva distinzione dei vari raggi, così che anche in questo caso il fading è poco notevole.

Nel caso di onde lunghe il fading non si verifica o per lo meno è molto limitato, perchè alle distanze medie predomina la componente superficiale, e a grandi distanze si trova soltanto un'unica componente spaziale.

Altre probabilità di fading si debbono attribuire ai differenti percorsi seguiti dalle vibrazioni che raggiungono il ricevitore, così che esse vi pervengono in istanti differenti, che se pur dell'ordine del millesimo di secondo sono sufficienti a renderci ragione del fading a frequenza elevata e della distorsione che si nota nella trasmissione telefonica.

Deduzioni teoriche ed esperimentali. — L'esperienza se pur molte volte concorde con le teorie che abbiamo riassunte, non è ancora sufficiente a confermarle.

È interessante d'altra parte vedere quali deduzioni pratiche potremmo ottenere ammettendo la veridicità di qualcuna di queste.

Supponiamo infatti che la propagazione a grande distanza si effettui

(1) Righi descrisse il fenomeno fin dal 1882 nella monografia: *Sui cambiamenti di lunghezza d'onda ottenuti con la rotazione di un polarizzatore e sul fenomeno dei battimenti prodotto con le vibrazioni luminose.*

con onde spaziali rifratte in un mezzo a conducibilità variabile con l'altezza, secondo le idee di Eccles, Larmor, Appleton ecc.

Ricordiamo che il valore dell'indice di rifrazione dipende da un numero grandissimo di fattori, quali principalmente la lunghezza d'onda, la qualità di polarizzazione, la variazione della densità elettronica con l'altezza ecc.

Ammettendo che polarizzazione e densità elettronica ecc., siano fisse, determinate e costanti, possiamo esprimere graficamente la variazione dell'indice di rifrazione in funzione della lunghezza d'onda, in modo analogo a quanto si fece pei vari casi di polarizzazione (v. fig. 307).

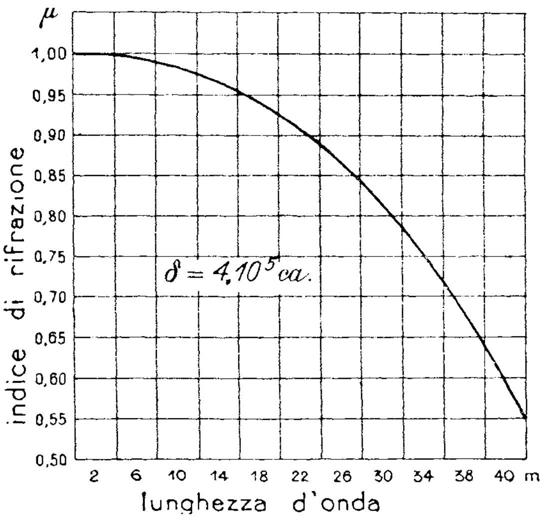


Fig. 310.

La fig. 310 mostra infatti la graduale riduzione dell'indice determinata dal solo aumento della λ quando si supponga una densità elettronica di 4.10^5 elettroni per cm^3 (Taylor) e quella polarizzazione per la quale corrisponde l'indice minore.

Da questa curva possiamo calcolare per ogni determinata altezza dello strato ionizzato superiore (¹) e per ogni lunghezza d'onda, a che distanza dal radiatore farà ritorno il raggio maggiormente rifratto.

Ma abbiamo visto che usando onde molto corte, quando cioè l'effetto di rifrazione è molto ridotto, soltanto i raggi che incidono molto inclinati sullo strato possono ritornare sulla terra.

Si disse infatti che esiste un angolo critico di incidenza per il quale corrisponde il raggio rifratto più vicino al trasmettitore.

Poichè il valore di questo angolo dipende a parità di condizioni dalla lunghezza d'onda e dall'altezza dello strato, è possibile con brevi calcoli costruire le curve della fig. 311 che ci danno appunto l'angolo

(¹) Si ricordi che « altezza » in questo caso si riferisce ai punti dell'atmosfera, dove la densità elettronica è massima.

massimo di incidenza (sull'orizzonte) in funzione della lunghezza d'onda per altezze di 60, 80, 150, 250, 350, 500 e 750 chilometri rispettivamente (curve *abcdefg*).

Poichè gli infiniti raggi che incidono con angoli maggiori del critico

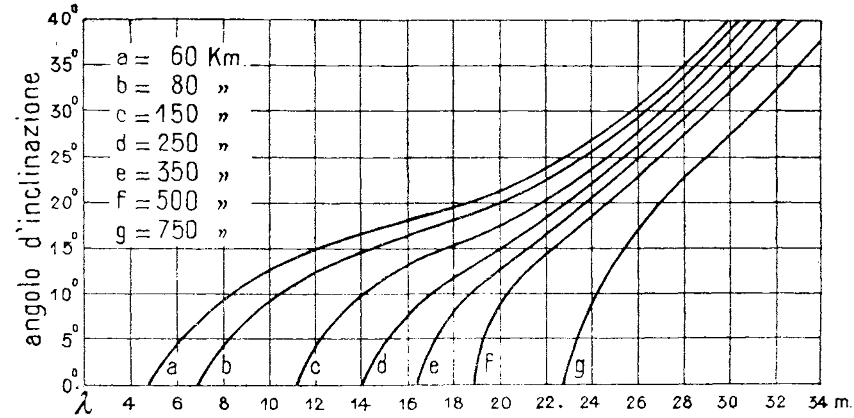


Fig. 311.

vanno perduti negli spazi, il grafico ci insegna immediatamente che il cono di raggi, utili per comunicare a distanza, compreso cioè fra la superficie terrestre e l'angolo critico, va sempre più restringendosi con l'aumentare dell'altezza dello strato e col diminuire della lunghezza d'onda. Possiamo esprimere grossolanamente la cosa con la fig. 312, dove ogni linea punteggiata indica il raggio limite utile per le varie lunghezze d'onda e dove appare ben evidente l'inutilità dei raggi che fanno angoli maggiori.

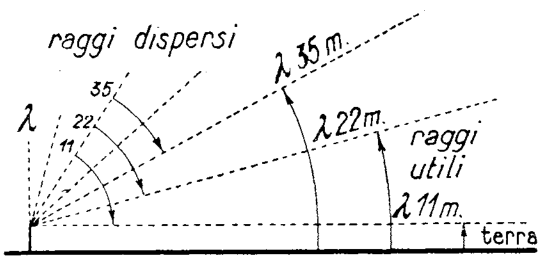


Fig. 312.

D'altra parte, ci accorgiamo che anche nel caso più favorevole, di un radiatore collocato così in alto da potere emettere raggi pressochè orizzontali senza che l'assorbimento terrestre risulti eccessivo, si raggiunge per ogni altezza dello strato un limite di rifrazione efficace quando appunto i raggi emessi anche orizzontalmente non sono più sufficientemente rifratti per ritornare sulla terra.

Questo limite che si calcola su 5, 7, 11, 14, 16, 19 e 23 metri

circa per le varie altezze supposte, rappresenta la prima importante deduzione teorica che, come abbiamo più volte ricordato, l'esperienza sembra oggi confermare.

Esiste una lunghezza d'onda minima al di sotto della quale nessuna regolare comunicazione a distanza può essere mantenuta. Questa lunghezza varia nel tempo (1) *e sembra compresa fra 8 e 20 metri* (2).

I risultati della nostra discussione si possono esprimere più chiaramente con le curve della fig. 313, le quali ci danno per ogni angolo

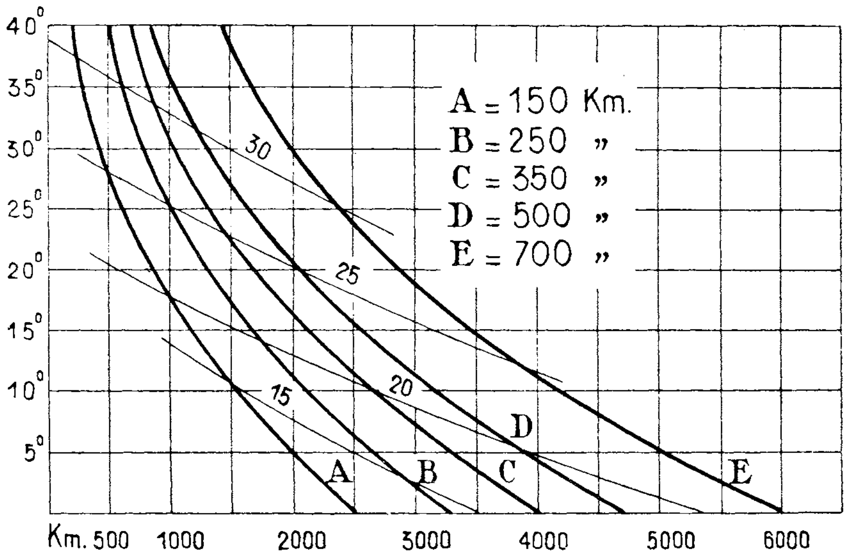


Fig. 313.

di inclinazione i punti di ritorno più prossimi al radiatore (dove arrivano i raggi maggiormente deviati alla fine cioè della zona di silenzio).

Le linee che intersecano le curve principali segnano gli angoli limiti relativi ad alcune lunghezze d'onda.

La curva *A* (3), per esempio, relativa ad un'altezza dello strato di 150 chilometri ci mostra che con $\lambda = 30$ metri è possibile utilizzare raggi inclinati fino a 40° e ridurre quindi la zona di silenzio a qualche centinaio di chilometri.

(1) Nelle varie ore, giorni, stagioni ed anni, a seconda dell'altezza dello strato ionizzato.

(2) Come abbiamo più volte accennato, non è possibile basarsi con sicurezza sui pochi dati esperimentali finora ottenuti, anche se questi tendono a confermare la teoria.

(3) Le curve e i vari grafici sono state dedotte da dati e disegni gentilmente forniti dal *Naval Research Laboratory* di Bellevue Ana. Washington Dc. U. S. A.

Col diminuire della λ (25, 20, 15 m.) l'inclinazione dei raggi utili si riduce a qualche grado sull'orizzonte e quindi la zona di silenzio raggiunge qualche migliaio di chilometri. Le curve *B*, *C*, *D* ecc., relative ad altezze sempre crescenti dello strato mostrano maggiormente accentuate le stesse caratteristiche, specialmente in relazione al grande aumento della distanza saltata ed alla lunghezza d'onda minima ed utile che risulta sempre più lunga.

Possiamo ora affermare che per ogni distanza e per ogni altezza dello strato esiste un'onda che può dare i massimi effetti, quella cioè per la quale è necessario il minimo numero di riflessioni sullo strato e sulla terra (v. pag. 314).

Se pensiamo infatti che i raggi rimandati dallo strato sulla terra vengano da questa riflessi *secondo un angolo equivalente a quello d'incidenza* è possibile costruire delle curve che esprimono i punti di ritorno sulla terra in funzione dell'inclinazione sull'orizzonte quando l'altezza dello strato sia supposta costante (150 chilometri nel nostro caso).

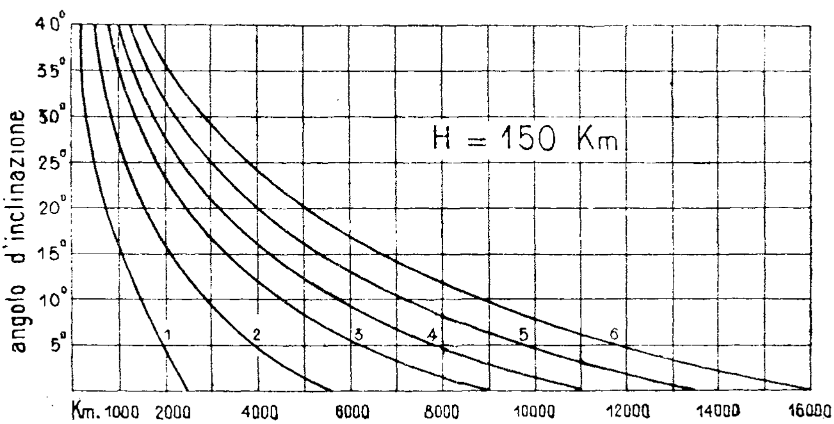


Fig. 314 (¹).

Così nel caso di raggi molto inclinati (parte superiore delle curve) cioè usando onde di oltre 25 metri, la distanza varcata con 6 riflessioni terrestri non supera i 3500 chilometri mentre con raggi pressochè orizzontali (10-12 metri) essa oltrepassa i 15 mila.

(¹) Le curve indicano i punti di ritorno sulla terra più prossimi al radiatore del raggio che presenta il minor indice di rifrazione. Si può così considerarle come le zone di riflessione *terrestre*. Se esistesse il solo raggio considerato avremmo fra una curva e l'altra una zona di silenzio. Ma poichè assieme a questo moltissimi altri, e variamente inclinati, vengono emessi, ciò non si verifica in pratica che allorquando l'onda è estremamente corta (v. pag. 322).

Ora poichè ogni riflessione terrestre implica un grande assorbimento di energia è naturale ed evidente la convenienza di onde di questo ordine per comunicare a grande distanza [1].

Nei nostri calcoli non abbiamo considerato però che i raggi inclinati soltanto di *qualche* grado sull'orizzonte, quando la lunghezza d'onda è inferiore ai 20 metri, possono generalmente considerarsi assorbiti.

Resta allora soltanto un sottile pennello utile che comprende i raggi fra l'angolo limite e massimo (in questo caso pure molto ridotto), e l'angolo minimo. La principale caratteristica di questo sottile pennello utile è di determinare dopo la prima, successive zone di silenzio. Di ciò ci si accorge considerando la fig. 315; infatti occorre un numero molto

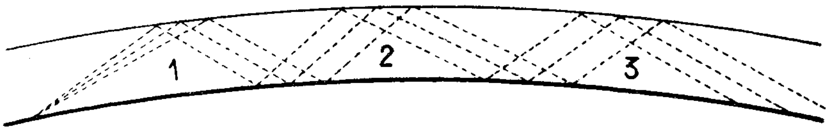


Fig. 315.

grande di riflessioni perchè la suddivisione del sottile pennello di raggi riesca tale da inviare vibrazioni in ogni punto della terra. Si debbono allora notare ad intervalli delle zone di silenzio 1, 2, 3, tanto meno definite quanto più grande è la distanza del radiatore.

Le poche esperienze finora condotte al riguardo confermano queste deduzioni teoriche.

Casi pratici. — Tutto quanto si è detto vale per uno strato di altezza uniforme durante tutto il percorso delle onde e. m., cioè quando la trasmissione si effettua nel senso Nord-Sud

Ma se questa è diretta nel senso dei paralleli geografici (Est-Owest p. e.) le condizioni vengono variate e grandemente si complica il meccanismo della propagazione.

In questo caso si può ammettere molto approssimativamente che ad ogni riflessione *terrestre* corrisponda una rifrazione *celeste* ad altezza differente.

Così ammettendo una trasmissione da un luogo buio verso un luogo luminoso, avremo successive rifrazioni su strati ionizzati, via via più bassi e quindi le distanze percorse fra una e l'altra di queste andranno via via riducendosi.

[1] Bisogna ricordare che in questo caso si suppone uno strato ionizzato a 150 km., altezza che sembra effettivamente esistente durante un pomeriggio estivo.
Se lo strato è più alto si possono varcare le stesse distanze con un numero analogo di riflessioni anche con onde maggiori.

D' altra parte nel caso di trasmissione da un luogo luminoso verso un luogo buio si verificheranno condizioni perfettamente opposte così

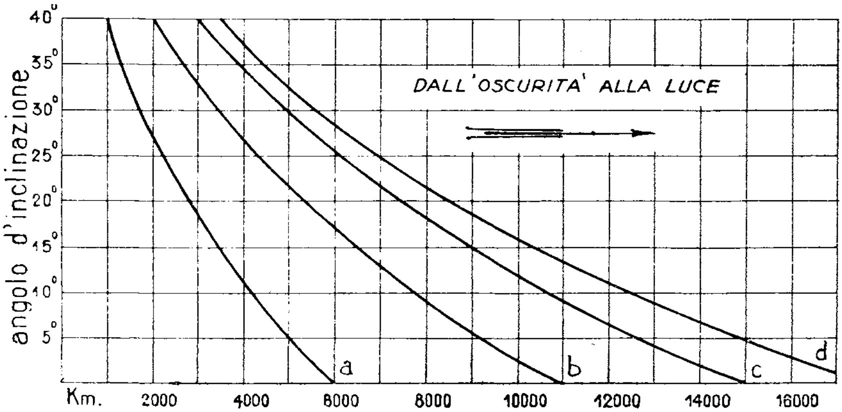


Fig. 316.

da rendere possibile il caso della *irreciprocità* della comunicazione, che fu da tempo oggetto di studi e di esperienze.

Le figure 316 e 317 ci mostrano le curve relative ai due sensi di propagazione quando si supponga che le successive rifrazioni si effettuino su strati di altezza differente e determinata.

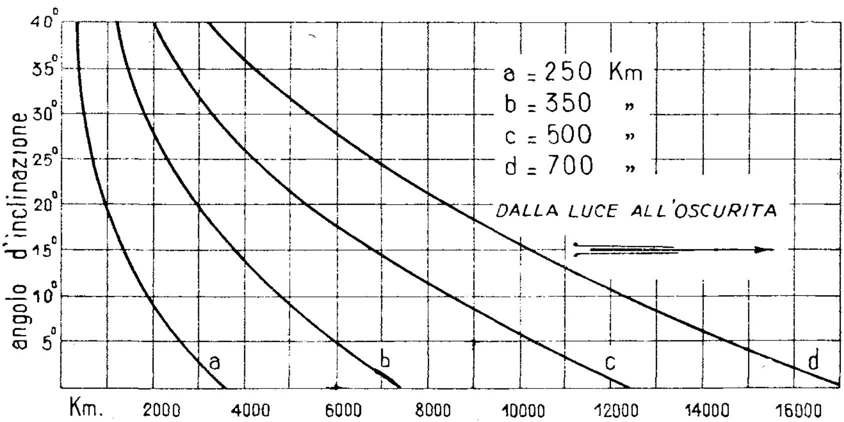


Fig. 317.

Se si considerano i raggi diretti dal buio verso la luce vediamo che essi trovando strati sempre più bassi vengano rifratti secondo angoli d' incidenza sempre più ampi, mentre nel caso contrario (condizioni perfet-

tamente opposte) si hanno a grandissima distanza zone di silenzio o addirittura la sparizione del segnale. Ciò si verificherebbe nel caso che la lunghezza d'onda fosse così prossima a quella limite da non far ritornare più sulla terra il raggio e. m. non appena l'altezza dello strato fosse sufficientemente aumentata.

Si calcola in questo modo che per comunicare a grande distanza nel senso dell'Est-Owest cioè dalla luce verso il buio, non si debbano usare onde inferiori ai *24 metri* d'inverno e ai *20 metri* d'estate.

Ma ciò naturalmente non è ancora basato su attendibili dati esperimentali.

Analoghi effetti di irreciprocità si possono notare nella trasmissione Nord-Sud a grande distanza a cagione della differenza di stagione che si verifica fra le due posizioni corrispondenti.

Abbiamo detto più volte che l'esperienza concorda spesso con le deduzioni teoriche. Le eccezioni apparentemente inspiegate non sono numerose. Le principali sono forse quelle che hanno dimostrato l'inesistenza della zona neutra anche usando onde molto corte.

Questi casi, sebbene rari, sono stati riscontrati e controllati, con sicurezza. Ad esempio la stazione 2*xs* della Radio Corporation of America non presenta affatto zona di silenzio e chi scrive potè ricevere segnali ben chiari su 13 e 12 metri, là dove doveva esistere la parte più interna della zona saltata.

Come la teoria lasciava prevedere la trasmissione radio-elettrica nelle *zone polari* si presenta molto complessa. Infatti per la grande durata del giorno e della notte lo strato ionizzato è estremamente basso durante l'estate e raggiunge altezze rilevanti durante l'inverno. Le prove eseguite finora, eseguite soltanto nel primo caso hanno provato che la comunicazione può essere mantenuta soltanto con onde molto lunghe o molto corte e ciò concorda bene con quanto innanzi si è affermato. È prevedibile che in pieno giorno polare (cioè dopo qualche mese di luce) la comunicazione a distanza non possa riuscire efficace che con onde inferiori ai 15 metri. Il secondo caso finora non è stato indagato direttamente per l'impossibilità materiale dell'impresa, se pure importanti deduzioni potrebbero esserne derivate.

Si sa soltanto da tempo che quando in una comunicazione a distanza viene ad essere interposta una zona polare, si nota un grande affievolimento dei segnali.

Le spedizioni artiche di questi ultimi tempi hanno via via adottato onde più corte per comunicare col resto della terra e le spedizioni future con razionali esperienze e misure porteranno certamente nuovi contributi e dati allo studio della propagazione hertziana.

Influenza della luna e del sole. — Fin dal 1913 il Curtis pubblicò i risultati di alcune esperienze eseguite nel Brasile (Amazzoni) tendenti a provare che la *luna* esercita una grande influenza sull' intensità dei segnali radio-telegrafici.

Egli notava principalmente delle variazioni notevoli quando la luna stava per sorgere all' orizzonte e precisamente l' intensità dei segnali da massima passava per un minimo, ritornava massima, quindi minima ancora per risalire poi al regime notturno costante, in un periodo di circa un quarto d' ora.

Il fenomeno non fu osservato da altri per moltissimi anni o per lo meno non fu preso in considerazione.

Alle prime prove invece con onde corte (ordine 200 metri) durante le cosidette « freack transmissions » si notò una grande influenza della luna.

La comunicazione era cioè molto più difficile quando il percorso da varcare era illuminato dalla luna che durante l' oscurità completa. E ciò ricevette pure una ulteriore conferma durante le prove transatlantiche su 200 metri d' onda (1921).

Coll' avvento di onde più corte il fenomeno non fu più notato: ultimamente però alcuni esperimentatori hanno trovato che l' intensità dei segnali provenienti da grande distanza varia nel tempo coincidendo notevolmente col ciclo lunare.

Essi però riuscirono a misurare *segnali costantemente più forti durante il periodo della luna piena* che durante le altre fasi. E ciò anche quando le condizioni del cielo velavano completamente la luna stessa.

Mancano però ancora troppi dati per potere sicuramente affermare la cosa. Per intraprendere le misure è necessario disporre di un istrumento ricevitore-misuratore che possa mantenere costanti le sue caratteristiche e la sua sensibilità durante un lungo periodo di tempo.

L' indagine in questo senso si presenta molto promettente tanto più che anche per altra via si verrebbe ad ammettere l' influenza lunare. È infatti universalmente noto che la comunicazione fra due stazioni lontane, regolare e perfetta per lunghi periodi (qualche settimana), può alle volte e inesplicabilmente divenire impossibile per qualche giorno, per ritornare ottima e ancora impossibile e così via.

Un metodo d' indagine molto semplice consiste nell' eseguire giornalmente una ricezione delle stazioni più lontane annotando quelle che riescono a mandare segnali ben intelligibili.

Il *numero* di ricezioni giornaliere può dare poi un' idea dell' andamento della ricezione. Il metodo è naturalmente molto empirico ma riesce spesso a dare un primo risultato d' approssimazione.

Ultimamente furono segnalate altre osservazioni relative alla levata della luna e al tramonto del sole. Si notò infatti che per periodi di circa 10 minuti prima e dopo la levata della luna il campo elettrico e magnetico terrestre subiva notevoli variazioni mentre particolari disturbi erano prodotti nei ricevitori radiotelegrafici, spesso sufficienti ad impedire le più regolari comunicazioni.

Ciò coincideva generalmente col tramonto del sole. E a proposito dell' influenza solare, se pure le esperienze condotte con onde corte sono poche tuttora, esse proverebbero principalmente che allorchè si ha agitazione solare (apparizione di macchie) si notano assieme alle variazioni magnetiche ed elettriche terrestri, delle grandi diminuzioni nell' intensità di ricezione.

Nei primi mesi del 1926 infatti, nei quali l' attività del sole fu estremamente accentuata, si notarono in ogni punto della terra peggioramenti notevoli nelle ricezioni radio-elettriche.

Come precedentemente si disse l' attività massima del sole si verificherà verso il 1928. Per quell' epoca sarebbe importante una stretta collaborazione fra gli osservatori astronomici ed elettromagnetici con coloro interessati nella ricezione hertziana. E ciò durante lunghi periodi di tempo e coll' uso di lunghezze d' onda variabili.

L' avvenire delle onde corte. — Si può affermare con sicurezza che le onde corte rappresentano il mezzo moderno delle radio-comunicazioni.

La gamma delle onde lunghe sarà abbandonata non appena i recenti grandiosi impianti non potranno sopportare la concorrenza dei piccoli radiatori.

L' idea che il trasmettitore ad onde corte non potrebbe essere che l' alleato di quello ad onde lunghe, tanto più potente, per sostituirlo durante *qualche ora* del giorno, va lentamente tramontando.

Si è provato infatti che cambiando spesso la frequenza nelle varie ore del giorno e con una potenza dell' ordine di 50 cavalli, tutte le distanze terrestri possono essere varcate commercialmente durante *tutte* le 24 ore.

La tecnica dei prossimi anni ci permetterà di tanto perfezionare i generatori ad *AF* che non riuscirà difficile irradiare e dirigere qualche centinaio di cavalli.

Questa grande potenza da usarsi in brevi periodi del giorno assicurerà un *rapidissimo* traffico commerciale durante le 24 ore del giorno ad ogni distanza.

Ora si immagina ben difficilmente la necessità di impiegare capitali

enormi per costruire radiatori ad onda lunga incapaci di assicurare la rapidità e l'efficacia di traffico che dai primi, infinitamente più economici, sarà possibile ottenere.

Il grande centro radio-telegrafico che occupava finora immense superfici di terreno imponendosi con la grandiosità delle sue antenne, verrà nel futuro umilmente confinato su un colle, dove una casetta e un'antenna di qualche metro rappresenteranno la semplicità che la nuova tecnica ci ha permesso di ottenere (1).

(1) Per ulteriori dati teorici ed esperimentali e particolari tecnici d'impianto, v. parte 5a.

BIBLIOGRAFIA (*)

CENNI STORICI

RIGHI AUGUSTO e DESSAU - *Telegrafia senza filo.* Bologna, Zanichelli, 1903.

MARCONI GUGLIELMO - *Radiotelegraphy.* « Royal Institution », 2 giugno 1911.

GODLEY PAUL - *Official report on the second transatlantic tests.* « QST », pag. 14, febbraio 1922.

S. KRUSE - *Exploring 100 meters.* « QST », pag. 12, marzo 1923.

DUNMORE FRANCIS - *Continous waves radio transmission on a wave lenght of 100 meters using a special type of antenna.* « Proc. Inst. Radio Eng. N. Y. », pag. 243, giugno 1923.

TAYLOR HOYT - *The Navy's work on short waves.* « QST », pag. 9, maggio 1924.

MARCONI GUGLIELMO - *Results obtained over very long distances by short wave directional wireless etc.* « Journal of the Royal Soc. London », pag. 607, 25 luglio 1924.

DUCATI ADRIANO - *Esperienze ad onda corta Regia Marina.* Giugno-ottobre 1924. Roma, Ministero della Marina.

S. KRUSE - *20 meters tests puts daylight signals across America.* « QST », pag. 31, febbraio 1925.

— *Daylight radio communication wins.* « QST », pag. 9, marzo 1925.

TAYLOR HOYT - *An investigation of transmission on the higher radio frequencies*· « Proc. Inst. Radio Eng. N. Y. », pag. 677, dicembre 1925.

S. KRUSE - *Progress and plans at 5 meters and below.* « QST », pag. 35 e 39, luglio 1926.

PROPAGAZIONE

MARCONI GUGLIELMO - *A note on the effect of daylight upon the propagation of electro-magnetic waves over long distances.* « Proc. Royal Soc. London », pag. 254, 15 maggio 1902.

(*) Per economia di spazio si citano soltanto, per ordine di data, i principali lavori consultati. In ognuno di essi il lettore studioso, potrà trovare innumerevoli citazioni ad altre opere.

CURTIS AUSTEN - *Moon effects etc.* « The Electrician », pag. 143, 21 marzo 1903.

AUSTIN L. W. - *Some quantitative experiments in long distance radio telegraphy.* « Journal of Washington Academy of Science », novembre 1911, e « Bulettin of Burau of Standards », vol. 7°, n. 3, 1911.

TAYLOR HOYT - *Radio transmission and weather.* « The Electrician », 28 marzo 1913, pag. 1165, e « Phisical Review », pag. 346, maggio 1914.

— *Diurnal and annual variations in overland radio transmissions.* « Phisical Review », pag. 435, novembre 1914.

TAYLOR e BLATTERMAN - *Variation in nocturnal transmission.* « Proc. Inst. Radio Eng. », vol. 4°, pag. 131, 1916.

DE GROOT C. - *Long distance wireless reception in Australia,* « Wireless World », pag. 815, marzo 1918.

VALLAURI G. C. - *Misura del campo e. m. di onde RT transoceaniche.* « Elettrotecnica ». pag. 298, 15 giugno 1920.

BOUTHILLON L. - *La propagation des ondes e. m. à la surface de la terre.* Paris, Librairie Delagrave, 1921.

GUIERRE - *Explorations hertziennes entre Toulon e Tahiti.* « Bullettin de la Soc. Fran. des Electriciens », vol. 10°, serie 3ª, pag. 247, luglio 1920.

DELLINGER H. J. - *A study on radio signals fading.* « Scient. Paper of Burau of standards », n. 9, pag. 476, 1923.

ROUND, ECKERSLEY ETC. - *Report on measurements made on signal strenght at great distances during 1922 and 1923 by an expedition sent to Australia.* « The Inst. of Radio Eng. London », ottobre 1925.

TAYLOR HOYT - « Proc. Inst. Radio Eng. », pag. 677, dicembre 1925.

TEORIE

HERTZ H. - « Wiedemann Annalen », vol. 36°, pag. 1, 1889.

RIGHI AUCUSTO - *L'ottica delle oscillazioni elettriche.* Bologna, Zanichelli, 1897.

BLONDEL A. - *Sur la teorie des antennes dans la T. S. F.* « Ass. Franc. pour l'av. des sciences ». pag. 212. Nantes, 1898.

LOVE H. - *The advancing front of the train of waves emitted by a teoretical hertzian oscillator.* « Proc. Royal Soc. London ». vol. 74°, pag. 73, 1904.

HEAVISIDE O. - « Enciclopedia Britannica », vol. 33°, pag. 215, 1902.

MACDONALD M. - *The bending of electric waves round a conducting obstacle.* « Proc. Royal Soc. London », vol. 71°, pag. 51 e vol. 72°, pag. 59, 1904.

KENELLY A. E. - « Electrical World », pag. 473, 15 marzo 1902.

LORD RAILEIGH - *On the bending of the waves round a sferical obstacle.* « Proc. Royal Soc. London », vol. 72°, pag. 40, 1904.

POINCARÉ H. - *Sur la diffraction des ondes electriques.* « Proc. Royal Soc. London », vol. 72°, pag. 44, 1904.

ZENNECK J. - *Uber die Fortpflanzung ebener elektromagnetisher Wellen langs einer ebenen Leiterflache und ihre Beziehung zur drahtlosen telegraphie.* « Annalen der Phisik », vol. 23°, pag. 646, 1907.

SCHUSTER A. - *The diurnal variation of terrestrial magnetism.* « Phil. Royal Soc. London », vol. 208°, pag. 160, 1907.

VILLARD C. - *Le rayons cathodiques dans le champ magnetique.* « Bull. Soc. Int. des electriciens », ser. 2ª, vol. 6°, 1907.

STÖRMER C. - *Sur les trajectoires des corpuscoles electrisé dans l'espace sur l'action du magnetisme terrestre ecc.* « Archives des Sciences Phisiq. e Nat. », vol. 24°, pag, 5, 113, 221, 317.

LORENTZ H. A. - *The theory of electrons.* Cap. 4°, 1909.

SOMMERFELD A. - *Uber die ausbreitung der wellen in der drahtlosen telegraphie.* « Annalen der Phisik ». vol. 28°, pag. 665, 1909 e « Jahrbuch der drahtlosen telegraphie und telefonie », vol. 4°, pag. 157, 1910.

NICHOLSON J. W. - *On the bending of electric waves round the earth.* « Phil. mag. », vol. 19°, pag. 276, 435, 757, 1910.

ECCLES W. H. - *On the diurnal variations of the electric waves occurring in nature ecc.* « Proc. Royal Soc. London », vol. 87°, 1912.

— *Atmosferic refraction in wireless telegraphy.* « The Electrician », pag. 969, 19 settembre 1913.

FLEMING J. A. - *On atmosferic refraction and its bearing on the trasmission of electromagnetic waves round the earth surface.* « Proc. Phis. Soc. London », vol. 26°, pag. 318, 1914.

— *On the causes of the ionisation of the atmosfere.* « The Electrician », pag. 348, 11 giugno 1915.

NAGAOKA A. - *La propagation des ondes electriques à la surface de la terre et la couche ionisee de l' atmosfere.* « Revue generale des Sciences », vol. 26°, pag. 570, 30 ottobre 1915.

VAN DER POLL BALTH - « Proc. Phis. Soc. London », vol. 29°, pag. 269, 1916-1917.

— *On the energy transmission in wireless Tel.* « Year book of wireless teleg. and telef. », pag. 855, 1918.

— *Sur la propagation des ondes e. m. autours de la terre.* « Phil. Mag. », vol. 38°, pag. 365, 1919.

WATSON G. W. - *The diffraction of electric waves by the Earth.* « Proc. Royal Soc. London », vol. 95°, pag. 83, 1918.

— *The trasmission of electric waves around the Earth.* « Proc. Royal Soc. London », vol. 95°, pag. 546, 1919.

ECCLES W. H. - *Wireless telegraph. and telef.* « The Electrician », vol. 84°, pag. 297, 12 marzo 1920.

CHAPMAN e MILNE - « Quarterly Jour. of the Roy. Meter. Soc. », vol. 46°, pag. 357, 1920.

LARMOR - « Phil. Mag. », vol. 48°. pag. 1025, dicembre 1924.

APPLETON E. V. « Proc. Phis. Soc. London », vol. 37°, parte 2ª, pag. 22 D, febbraio 1925.

— « Nature », pag. 382, 7 marzo 1925.

— *Le role de la atmosfere dans la T. S. F.* « Electrical Review », pag. 432, 1925.

APPLETON e BARNETT - « Proc. Royal Soc, », vol. 109°, pag. 621, dicembre 1925.

STÖRMER - « Proc. Phis. Soc. London », vol. 37°, parte 2ª, pag. 50 D, 1925.

ECKERSLEY L. - « Nature », pag. 466, 26 settembre 1925.

TAYLOR HOYT e HULBERT - *Wave propagation at high frequencies.* « QST », pag. 12, 19 ottobre 1925.

REINARTZ J. L. - *The reflection of short waves.* « QST », pag. 9, aprile 1925.

NICHOLS e SHELLUNG - « The Bell sistem tecnical Journal », vol. 4°, pag. 215, 1925.

ECKERSLEY T. L. - *A note on musical atmosferic disturbances* « Phil. Mag. », vol. 149°, pag. 1250, giugno 1925.

ALEXANDERSON E. F. - *Polarisation of radio waves.* « General Electric Co. », 5 dicembre 1925,

APPLETON e BARNETT - *On some direct evidence for downward atmosferic reflection of electric rays.* « Proc. Roy. Soc. », vol. 109°, 1925.

— *Wireless signals variation.* « The Electrician », dicembre 1925.

NEGRO C. - *Elettricità atmosferica.* Milano, Hoepli, 1926.

BIDWELL C. H. - *Direction and intensity changes of radio waves.* « I. Franklin Institute », gennaio 1926.

TAYLOR HOYT e HULBERT - *The propagation of radio waves over the earth.* « Phisical Review », pag. 189, n. 2, febbraio 1926.

BAKER e RICE - *Refraction of short radio waves in the upper atmosfere.* « American Institute Electrical Engeneers. N. Y. », febbraio 1926.

KRUSE S. - *Horizontal reception.* « QST », febbraio 1926.

BROWN R., MARTIN D. K. ETC. - *Some studies in radio broadcast.* « The Electrician », febbraio 1926.

DELCAMBRE e BUREAU - *Sur la propagation des ondes courtes emises à bord du* Jacques Cartier. « Onde Electrique », febbraio 1926.

MAURAIN C. e EBLÈ L. - *Sur l' orage magnetique du 26 janvier 1926.* « Comptes rendus », febbraio 1928.

ECCLES, JAKSON ETC. - *The electrical state of the upper atmosfere.* « Nature », marzo 1926.

BREIT G. - *Polarisation of radiation scattered by an electronic sistem to a magnetic field.* « Journal Opt. Soc. of America », marzo 1926.

FRASER R. - *The refractive index of gases and vapours in a magnetic field.* « Philosophical Magazine », aprile 1926.

HALL O. - *The mistery of fading.* « Experimental Wireless », aprile 1926.

PICKARD G. - *The polarisation of radio waves.* « Proc. Inst. Radio Eng. », aprile 1926.

ELIAS G. - *Uber die Fortpflanzung Elektromagnetishen wellen.* « Zeitschr. f. Hocfrequenz », vol. 27°, serie 3ª, pag. 66.

APPLETON E. V. - *The observation of fading effects etc.* « Wireless World », aprile 1926.

— *On the diurnal variations of ultra short waves wireless transmission.* « Proc. Cam. Phil. Soc. », aprile 1926.

MARCHANT - *Fading.* « Experimental Wireless », maggio 1926.

MILLIKAN e BOWEN - *High frequency rays of cosmic horigin.* « Phisical Review », aprile 1926.

HULBERT E. - *The Kenelly Headviside layer and radio waves propagation.* « Journal Franklin Inst. », maggio 1926.

TAYLOR M. - *The transmission of signals fron an horizontal antenna.* « Nature », giugno 1926.

ECKERSLEY T. L. - *Electrical Constitution of the upper atmosfere.* « Nature », giugno 1926.

PIKARD G. - *Discussion on polarisation of radio waves.* « Proc. Inst. Radio Eng. », giugno 1926.

CUIREIX H. - *Transmission en ondes courtes.* « Onde electrique », giugno 1926

PUIG I. - *Le grandes perturbation electromagnetiques du quatre premiere mois du 1926 etc.* « Comptes rendus », giugno 1926.

HERD J. - *Harmonics and their effects on wave form.* « Experimental Wireless », luglio 1926.

SHANNON D. - *The effect of the moon on radio reception.* « Experimental Wireless », luglio 1926.

KRUSE S. - *Polarized trasmission.* « QST », pag. 9, giugno 1926.

HEISING A. SHELLENG e SOUTHWORTH - *Some measurements of short wave transmission* « Proc. Inst. Radio Eng, », 30 giugno 1926.

ALEXANDERSON - *Polarisation of radio waves* « Journal American Inst. Electrical Eng. », luglio 1926.

NODON A. - *Relation entre les perturbations electromagnetiques et les troubles solaires.* « Onde electrique », luglio 1926.

NAKAYAMA, ONO, ANAZAWA - *On the relation between short wavelenghts and possible communication hours etc.* « Journal Inst. Electrical Eng. of Iapon », luglio 1926.

APPLETON E. V. - *Wireless Signal fading.* « Wireless World », agosto 1926.

TAYLOR HOYT - *Relation between the height of the Kenelly-Headviside layer and high frequency radio transmission fenomena.* « Proc. Inst. Radio Eng. », agosto 1926.

SANFORD F. - *Some e. s. disturbances upon the earth which seems to be caused by disturbances upon the sun.* « Phisical Review », agosto 1926.

C. SNELL. - *A suggested wireless transmission theory.* « Electrical Review », 27 agosto 1926.

MESNY R. - *Propagation des ondes courtes.* « Onde electrique », settembre 1926.

CHREE C. - *The recurrence of magnetic storms.* « Nature », 4 settembre 1926.

APPLETON E. - *Can we signal to Mars?* « Wireless World », 8 settembre 1926.

DURRANT R. - *Short waves experiments.* « Wireless World », 8 settembre 1926.

HOLLINGWORTH S. - *Polarisation of wireless waves.* « Nature », 18 settembre 1926.

MALLOCK A. - *Curved path of wireless waves.* « Nature », 25 settembre 1926.

RUKOP H. - *Recent developements in short wave wireless telegraphy.* « Experimental Wireless », ottobre 1926.

SUTTON M, - *Aurora and its effects upon radio signals.* « QST », ottobre 1926.

APPLETON E. V. - *The Kerr effect in wireless transmission.* « Nature », 9 ottobre 1926.

CAPITOLO II.

GENERAZIONE DELLE OSCILLAZIONI

Analisi elementare dell' audion oscillatore (1). — L' audion oscillatore ha lo scopo di trasformare parte della corrente continua che è impressa sulla sua placca in corrente alternata sinusoidale.

Sappiamo che ciò succede indirettamente: cioè *questa corrente sinusoidale ha origine nel circuito oscillante che l' audion eccita e non nello audion stesso.*

Dato infatti un circuito oscillante, un impulso elettrico qualsiasi lo mette (teoricamente) in perpetua oscillazione. Praticamente invece, le oscillazioni in esso si spengono (v. pag. 56). Compito dell' audion è quindi di fornire una corrente elettrica variabile, di ampiezza e frequenza sufficiente, a mantenere il circuito in continua oscillazione. Poichè sappiamo che imprimendo sulla griglia di un triodo una corrente alternata si ottiene una variazione nella corrente placca (v. pag. 85) analoga ed aumentata, noi possiamo eccitare il circuito di griglia con una sorgente separata di corrente alternata o addirittura rimandare a questo una parte della corrente alternativa generata nel circuito oscillante da un impulso qualsiasi, perchè esso stesso sia posto in continua oscillazione.

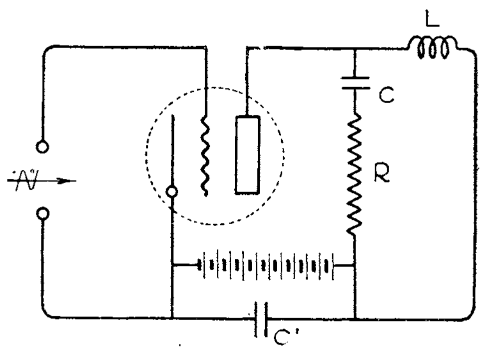


Fig. 318.

Il primo caso si dice ad *eccitazione separata* e il secondo (più comunemente usato) ad *auto-eccitazione.*

Riferendoci da prima al caso dell' eccitazione separata come al più semplice, supponiamo i collegamenti della fig. 318, e imprimiamo nel circuito griglia-

(1) Mantenere una forma elementare per spiegare il complesso funzionamento dell' audion oscillatore, non è semplice cosa. Mi si perdoni quindi se sarò obbligato ad usare una terminologia spesso inconcigliabile con la rigida espressione matematica.

filamento una corrente alternata, così che la corrente placca cresca e diminuisca con ritmo analogo.

Il circuito placca non contenga inoltre induttanza e sia quindi formato soltanto dalla capacità C e dalla resistenza R.

L' induttanza L necessaria ad alimentare la placca è scelta in modo che il suo valore sia sufficientemente elevato per non intervenire praticamente nel funzionamento.

Se la capacità C è notevole e la batteria di placca non presenta resistenza per essere shuntata da C' l' impedenza totale del circuito è praticamente rappresentata dalla resistenza R.

La corrente e la tensione continue di placca siano normalmente Ip ed Ep. Quando la griglia diventa positiva e negativa alternativamente Ip ed Ep oscillano intorno al loro valore normale. La corrente di placca può essere allora considerata composta della corrente continua Ip che passa attraverso ad L e che rimane invariata alle variazioni di griglia e da una corrente alternata sovrapposta Ipa che fluisce attraverso il circuito CR. Analogamente la tensione è costituita da una tensione continua Ep e da una tensione alternata sovrapposta Epa.

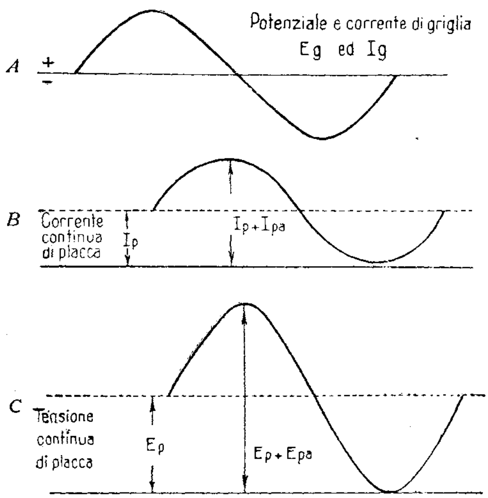


Fig. 319.

Se esprimiamo graficamente questo concetto abbiamo nella curva A la sinusoide che rappresenta le variazioni del potenziale e della corrente di griglia (fig. 319).

In B invece la linea punteggiata esprime il valore normale della corrente di placca, valore intorno al quale oscilla la componente alternata e che quindi può considerarsi rispetto a questa come asse zero.

Se consideriamo la figura è facile immaginare che se questa componente alternata oscilla sinusoidalmente potrà al massimo raggiungere un' ampiezza uguale ad Ip. Al massimo, poichè ciò provoca per ogni periodo l' annullamento completo della corrente di placca. Così che la corrente totale di placca $Ip + Ipa$ varierà fra zero e il doppio del suo

valore normale, cioè $2Ip$. La variazione della tensione è perfettamente analoga.

Questo limite teorico molto importante nel calcolo del rendimento di un triodo, *non è praticamente mai raggiunto.*

Considerando ancora la fig. 318, vediamo come il circuito di utilizzazione Rc si chiuda attraverso alla resistenza placca filamento della lampada, resistenza che chiameremo Rp. Diminuendo R la componente alternata di placca Ipa andrà sempre aumentando e sarà massima quando $R = Rp$. La stessa cosa succede comunemente nella utilizzazione di particolari tipi di dinamo o alternatori dove per avere il massimo rendimento occorre che la resistenza del circuito di utilizzazione sia identica a quella del generatore.

Quando R è uguale ad Rp, cioè nelle migliori condizioni, e quando l' eccitazione di griglia è sufficientemente elevata, è facile provare con una semplice dimostrazione matematica che tralascio, come la potenza totale sia esattamente uguale nei due rami LRp ed $CRRp$.

Ciò del resto è rilevabile anche dalle curve delle tensioni e delle intensità delle due componenti, curve che nelle condizioni limiti esprimono valori massimi identici della componente alternata e di quella continua.

Questo limite teorico può enunciarsi così:

« In un circuito ad eccitazione separata una lampada elettronica avente variazioni sinusoidali nella sua corrente di placca, può fornire nelle migliori condizioni di funzionamento, una potenza equivalente alla metà di quella assorbita, cioè dare un rendimento del 50 %».

In questa percentuale non sono considerate le perdite nel circuito di griglia, certo non trascurabili, nè l' energia spesa nell' accensione del filamento; ma tuttavia essa non è praticamente raggiungibile.

Questa è la base teorica dell' usanza commerciale di fissare il rendimento di un triodo al 50 %. Ma se ciò è praticamente impossibile quando le variazioni della corrente di placca sono sinusoidali, *un rendimento di gran lunga superiore può essere ottenuto con una variazione non sinusoidale della corrente di placca.*

Si è sperimentalmente trovato che aumentando di molto l' eccitazione della griglia o diminuendo la resistenza R, la componente alternata di placca non segue più un andamento sinusoidale, ma risulta bensì distorta (fig. 320) e quanto più questa distorsione è notevole tanto più il rendimento può essere aumentato. Le condizioni ideali sarebbero avvarate nel caso che

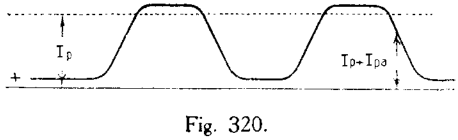


Fig. 320.

la distorsione fosse tanto notevole che la corrente di placca fluisse per un istante brevissimo raggiungendo la saturazione, e quindi restasse nulla per tutto il resto del periodo.

Un' altra particolarità da soddisfare sarebbe quella che allorchè la corrente è massima il potenziale di placca fosse il *minimo* sufficiente a determinare la saturazione, per il determinato potenziale di griglia che in quell' istante dovrebbe essere *massimo* e positivo.

In altri termini le tensioni di griglia e placca debbono essere in opposizione di fase e i loro valori scelti in modo che quando la griglia è positiva la tensione di placca sia molto piccola, mentre a griglia negativa la tensione di placca raggiunga il massimo sopportabile dall' audion. Cerchiamo di spiegare empiricamente questa necessità.

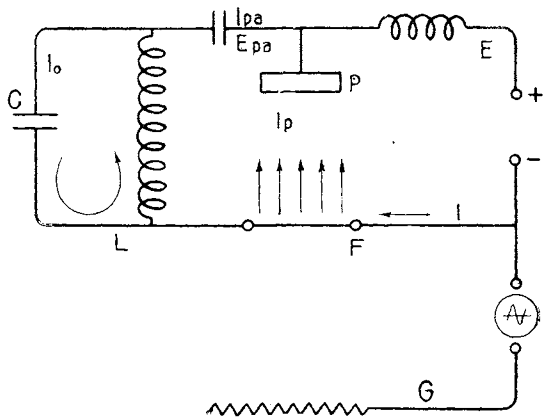


Fig. 321.

Supposto lo schema della fig. 321, il circuito oscillante *LC* ha bisogno di *impulsi* per mantenersi in oscillazione. Ma per produrre questi impulsi, cioè per generare la componente alternata *Ipa*, la corrente di placca *deve* passare fra il filamento e la placca (*Ip*), e quindi consumarsi in parte riscaldando quest' ultima.

Ora se questo passaggio è regolato da leggi sinusoidali, abbiamo già visto come nelle migliori condizioni la corrente perduta è uguale a quella resa, cioè $Ip = Ipa$, e quindi $I = Ip + Ipa = 2Ip$.

Ma nel caso sinusoidale la perdita dura con valori variabili per tutto il periodo, poichè *Ip* fluisce continuamente.

Ora se noi facciamo che *Ipa* duri, raggiungendo il suo massimo, una frazione di periodo e che quindi non possa più fluire, avremo una minore potenza generata dal triodo, ma anche un rendimento molto maggiore, poichè le perdite nella placca risultano ridotte.

Se noi regoliamo il potenziale di griglia in modo da avere la corrente di saturazione della lampada con la tensione di placca la più ridotta possibile, le perdite placca sono ancora minori; tuttavia per avere la massima potenza dal triodo ci occorrerebbe una tensione molto più elevata.

Ecco quindi la necessità di fare coincidere il minimo della tensione alternativa di placca col massimo di corrente nella lampada. Infatti mantenendo costante questo minimo è possibile aumentare a piacere il valore della tensione stessa, durante tutto il resto del periodo, poichè la griglia diventerà sufficientemente negativa per impedire il passaggio attraverso la lampada.

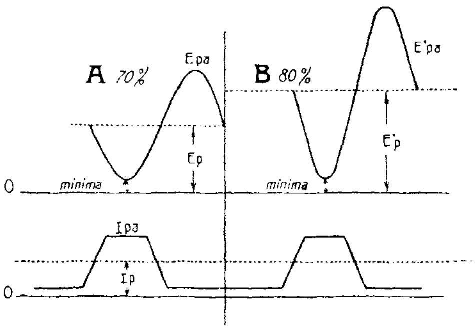


Fig. 322.

Ciò è graficamente rappresentato nella fig. 322, dove il valore della tensione minima e la forma di questa e della corrente si suppone costante.

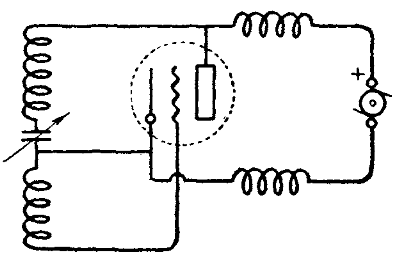


Fig. 323.

In *B* la tensione media di placca è raddoppiata e il rendimento per i valori approssimati della figura, è portato dal 70 all' 80 $^0/_0$, poichè la corrente consumata nella placca è nei due casi sensibilmente uguale.

L' unico limite di questa tensione è il valore massimo che può sopportare la lampada stessa. Il rendimento pratico può tuttavia non seguire rigorosamente quanto abbiamo esposto se il potenziale negativo di griglia necessario ad impedire il passaggio della corrente di placca risulta troppo elevato e vicino a quello positivo di quest'ultima.

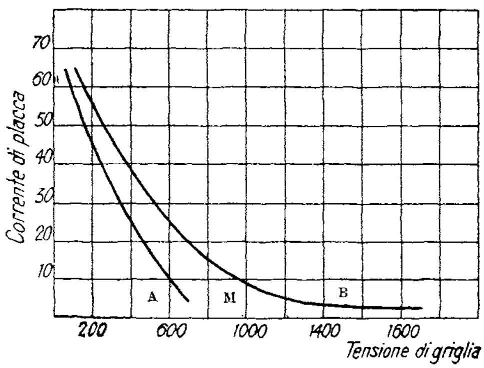


Fig. 324.

Ciò si verifica in alcuni triodi del commercio che presentano la curva *B* (vedi fig. 324), invece di quella *A*. La corrente di placca è bensì minima oltre il punto *M*, ma data la tensione elevata, sempre sufficiente a determinare notevoli perdite.

La figura 325 mostra per le forme *A*, *B*, *C* e *D* della corrente

variabile di placca i vari rendimenti supponendo che il potenziale rimanga costante.

Finora noi abbiamo considerata una forma sinusoidale della componente alternativa della tensione di placca. Però praticamente anche questa

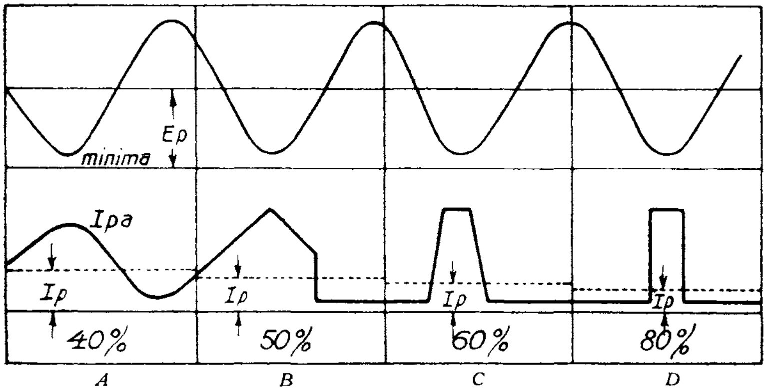


Fig. 325.

forma subisce notevoli distorsioni ed ha influenza quindi nel rendimento totale.

La tensione di griglia evidentemente oscilla non intorno allo zero, ma intorno al valore negativo fisso che noi imprimiamo sulla griglia stessa con uno dei soliti artifici (condensatore shuntato batteria di griglia ecc.). Essa raggiunge un valore positivo soltanto in un istante determinato del periodo, come abbiamo già notato.

Se noi vogliamo esprimere graficamente le condizioni di miglior rendimento di un triodo oscillatore, abbiamo la fig. 326, dove le curve *A*, *B* e *C* rappresentano rispettivamente i valori per ogni istante del potenziale di placca e di griglia e della corrente di placca.

Tutto quanto abbiamo detto si riferisce alle migliori condizioni di funzionamento di una valvola ionica, la griglia della quale sia eccitata da una sorgente separata di corrente alternata.

Spesso però è utile usare la cosidetta autoeccitazione che, sebbene permetta un rendimento minore, tuttavia presenta reali vantaggi di semplicità ed economia.

Autoeccitazione. — Affinchè un audion oscillatore operi nelle migliori condizioni sono allora necessarie tre cose:

a) La resistenza del circuito utilizzatore deve essere eguale a quella interna placca filamento.

b) La tensione alternativa di griglia deve essere in perfetta opposizione (180°) di fase con quella di placca.

c) Il valore dell' eccitazione di griglia deve essere regolabile.

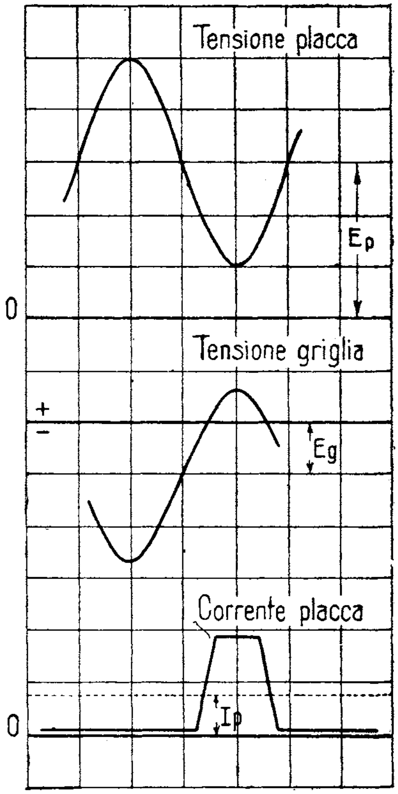


Fig. 326.

Supponiamo il circuito della figura 327, e riferiamoci per semplicità ad una corrente placca sinusoidale. Sappiamo allora che la potenza massima che un audion può fornire a questo è la metà della totale quindi dicendo E ed I la tensione e la corrente alimentazione abbiamo $W_0 = {}^1/_2\, EI$.

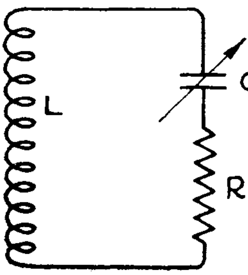


Fig. 327.

Questa potenza determina agli estremi di L un certo potenziale. Sappiamo inoltre che l'ampiezza massima della tensione variabile di placca deve essere $Epa = E$ mentre quella alternata di griglia è uguale all'ampiezza totale di quella di placca divisa per il coefficiente di amplificazione della lampada [1].

Quindi se noi colleghiamo il filamento in un punto dell' induttanza dovremo collegare placca e griglia in due punti opposti in modo che i potenziali siano rispettivamente E e $\frac{2E}{\mu}$. Si realizza in questo modo il circuito della fig. 328 dove il filamento è collegato circa al centro dell' induttanza e le posizioni

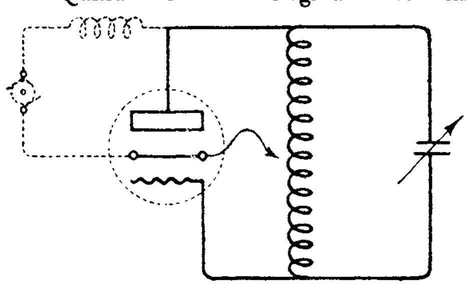


Fig. 328.

[1] Poichè la variazione totale di Epa è $2E$, abbiamo $Eg = \frac{2E}{\mu}$ dove μ è il coefficiente d'amplificazione della lampada.

migliori per inserire griglia e placca sono trovate per tentativi volta per volta poichè come è naturale, il possibile calcolo matematico è leggermente variato dalle condizioni pratiche.

Senza parlare particolarmente di questo calcolo accennerò come esso considera la caduta di potenziale fra gli estremi dell' induttanza quando questa sia attraversata da una determinata *corrente oscillante* I_0. La cosa quindi si presenta molto semplice: occorre però che I_0 sia molto grande in confronto alla corrente di placcca *Ipa* che percorre pure il circuito in modo che la presenza di questa non influisca praticamente nel calcolo. Infatti generalmente con una corrente *Ipa* di qualche decimo è possibile generare una I_0 di parecchi ampères. Ciò è anche importante nell' ottenere la necessaria differenza di fase di 180° fra tensione placca e griglia. Infatti poichè la corrente oscillante I_0 è spostata di 90° rispetto a *Ipa,* maggiore sarà la percentuale di quest' ultima più la fase di *Ig* si allontanerà da 180° avvicinandosi a 90° riducendo quindi il rendimento del triodo. Di qui la necessità che il circuito oscillante abbia la minor resistenza possibile affinchè la corrente oscillante possa raggiungere in esso i più elevati valori (1).

Capacità interne e potenziale medio di griglia. — Due importanti fattori non debbono essere dimenticati: che cioè la griglia ha bisogno, affinchè il rendimento sia massimo, di un potenziale medio negativo e continuo, e che il circuito griglia filamento contiene capacità, rappresentata da quella propria della stessa griglia rispetto al filamento. Essa capacità non è soltanto quella che si potrebbe calcolare considerando le dimensioni dei due elettrodi e la loro distanza ma è bensì una capacità (*effettiva*) che dipende da molti fattori. In primo luogo essa non è costituita da quella griglia filamento soltanto poichè in quasi tutti i circuiti oggi usati la placca è sempre più o meno collegata al filamento, quindi essa dipende dalla capacità griglia filamento e griglia placca. Questa capacità totale non è inoltre uguale alla somma delle due singole ma bensì alla risultante della composizione dei campi elettrostatici dei due condensatori. Quindi la capacità effettiva del condensatore griglia filamento è ben lontana dai valori che in questo modo potrebbero calcolarsi geometricamente. Essa dipende principalmente dal coefficiente d' amplificazione della lampada e aumenta con questo.

Esiste un altro fatto importante nei riguardi della capacità mutua fra

(1) È bene ricordare come soltanto la *resistenza* di un circuito limita il valore totale o ampiezza che la corrente oscillante può raggiungere in esso. E se fosse possibile annullare la resistenza la corrente raggiungerebbe l' infinito (vedi s. r.).

i due condensatori placca griglia e griglia filamento: può darsi cioè che il campo elettrostatico del primo reagisca con l'altro inducendo in quest'ultimo una tensione in fase colla f. e. m. impressa sulla griglia.

In questo modo si ha una reazione fra il circuito griglia e quello placca col risultato di aumentare ogni tensione impressa nel primo. Questo fatto sfruttato in molti circuiti ricevitori (v. pag. 196), permette di mantenere il circuito della fig. 329, in oscillazione senza che nessun altro accoppiamento intervenga fra L ed L_1 se non quello attraverso le capacità effettive interne della lampada, quando i circuiti L ed L_1 sono esattamente in accordo.

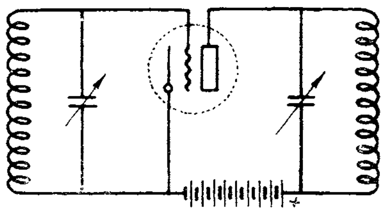


Fig. 329.

La capacità effettiva è circa da 5 a 10 volte maggiore di quella calcolabile geometricamente. Quindi, nel caso delle frequenze molto elevate, essa influisce grandemente nel funzionamento.

Per l'altra considerazione accennata cioè della necessità di un potenziale continuo negativo da imprimere sulla griglia il caso più semplice e del resto più sicuro, è dato dall'inserzione nel circuito griglia di una sorgente adatta di elettricità (fig. 330, 1) la tensione della quale può portare il triodo a funzionare col miglior rendimento. Un altro caso molto usato (2), e a noi ormai noto (v. pag. 90) consiste nell'interrompere il circuito griglia con un condensatore shuntato da una resistenza di adatto valore. La resistenza può anche essere inserita fra griglia e filamento (3) e in questo caso è necessaria una bobina di blocco L_1 per impedire passaggio e quindi perdite della corrente AF fra griglia e filamento.

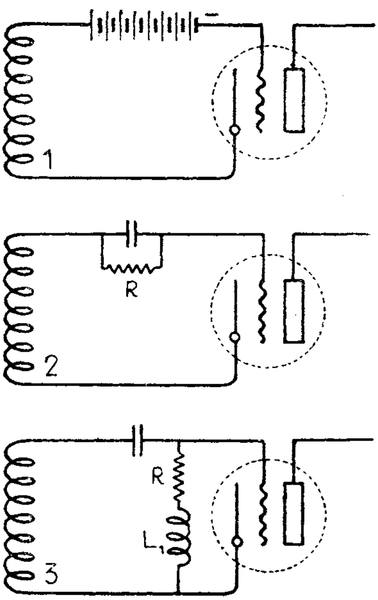


Fig. 330.

Corrente oscillante. — Quando la resistenza del circuito utilizzatore è molto piccola, la massima ampiezza della corrente che viene in esso provocata, si ottiene generalmente con l'accoppiamento più lasco sufficiente a mantenere le oscillazioni stesse.

È intorno a questo punto che si fanno generalmente oscillare le lampade, sebbene praticamente, a seconda della costruzione di queste o delle caratteristiche del circuito, l'accoppiamento migliore possa spesso oltrepassarlo.

Ciò si dimostra anche utile per la maggiore stabilità che si viene ad acquistare. Infatti, se l'eccitazione di griglia è appena sufficiente ad impedire lo smorzamento delle oscillazioni, si ha sì la massima corrente oscillante, ma le più piccole variazioni sia del potenziale di placca che della corrente d'accensione, provocano l'arresto immediato di queste. Ciò praticamente succede molto spesso e deve specialmente considerarsi nel caso della trasmissione telegrafica quando la lampada funziona ad intervalli. Accade infatti varie volte che l'accoppiamento necessario per provocare le oscillazioni è molto maggiore di quello che le arresta. Ciò è dovuto essenzialmente alla resistenza del circuito placca che si dimostra differente nei due casi. Ora se si desidera che la manipolazione telegrafica sia chiara e stabile è bene sacrificare un poco il rendimento (molto poco invero) ed accoppiare i due circuiti in modo che l'eccitazione risulti più che sufficiente a provocare il funzionamento immediato e costante dell'oscillatore.

Ancora riguardo al valore della corrente oscillante è utile ripetere ciò che abbiamo già accennato: cioè quando la resistenza del circuito oscillante diventa molto alta la corrente stessa diminuisce fino a divenire di valore prossimo o anche inferiore a quella variabile di placca. Allora queste due correnti da prima sfasate di 90° tendono a mettersi in fase in modo che quella oscillante si avvicina gradualmente a quella di placca; in questo caso la tensione indotta sulla griglia non è più spostata di 180° rispetto a quella di placca ma di un angolo minore tendente a 90°. Ma molto prima di giungere a questo limite le oscillazioni si spengono, poichè il rendimento della valvola diventa così basso da non potere nemmeno mantenerle.

Accoppiamento elettrostatico. — Abbiamo già visto come attraverso alle capacità interne della lampada e quindi attraverso un accoppiamento elettrostatico sia possibile fare reagire i circuiti griglia e placca e quindi provocare l'innesco delle oscillazioni. Effettivamente anche nell'accoppiamento elettro-magnetico, specialmente quando la frequenza è elevata, è presente in modo notevole e alle volte preponderante quello elettro-statico per le stesse ragioni. Tuttavia, se la frequenza non è molto alta, la capacità della lampada è insufficiente ad assicurare la necessaria « reazione ». In questo caso si inserisce un vero e proprio condensatore

fra la griglia e la placca. I possibili circuiti sono evidenti; nella fig. 331, vi sono alcune realizzazioni della pratica comune che usa però questo accoppiamento sempre in unione a quello induttivo.

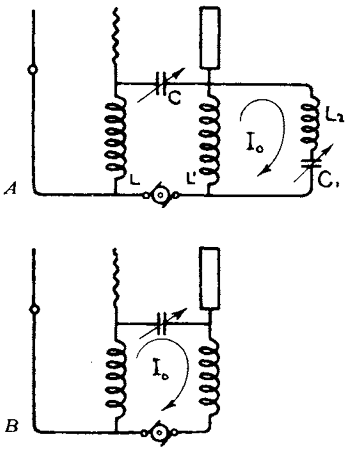


Fig. 331.

Ad accoppiamenti analoghi si debbono anche le *oscillazioni parassite* sempre presenti nei circuiti mantenuti in oscillazione dall'audion. Le correnti parassite così generate possono alle volte raggiungere ed anche sorpassare quella principale con evidente diminuzione di rendimento. Il caso più comune si ha quando con gli elementi che compongono il circuito generatore è possibile formare attraverso la capacità della lampada, un altro circuito oscillante. Così nel caso della fig. 331 *A*, e specialmente se si elimina il condensatore *C*, il circuito formato da L ed L_1 e la capacità griglia-placca può oscillare fortemente anche quando L_2 C_1 non è percorso da oscillazioni, assorbendo quindi una grande parte di energia. Ancor più comunemente si dà il caso della generazione di onde cortissime (dell'ordine del metro) che alla stessa guisa delle altre possono assorbire una forte percentuale di energia. Esse si producono molto semplicemente attraverso le capacità e i collegamenti della lampada stessa come può ben vedersi dalla fig. 332, dove il circuito delle oscillazioni parassite è indicato dalla freccia. Queste oscillazioni nocive, di frequenza generalmente superiore alla desiderata, possono facilmente essere eliminate coll'inserzione di adatte resistenze nei circuiti che esse debbono attraversare e ponendo molta cura nei collegamenti. Così nel circuito della fig. 332, inserendo sulla griglia nel punto segnato *R* una resistenza anche relativamente piccola le oscillazioni ad altissima frequenza non possono mantenersi mentre le altre non subiscono alcun danno poichè hanno sede nell'altro circuito *LC*.

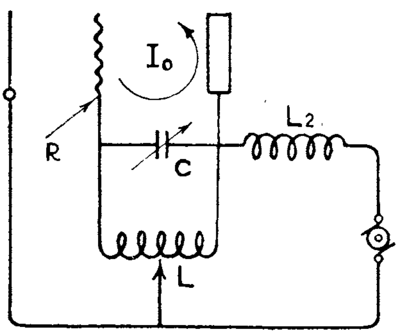


Fig. 332.

Quando più di una lampada viene usata all'oscillatore è più frequente

la produzione e più difficile l'arresto di queste vibrazioni parassite, in modo tanto più sensibile quanto più la frequenza da generare è elevata. È questo infatti uno dei principali fattori che limita l'uso di molti audions in parallelo quando l'onda è molto corta.

Audions oscillatori in parallelo. — Alla stessa guisa di alternatori qualunque i generatori a valvola restano automaticamente sincronizzati e in fase se sono operati in parallelo. Infatti se noi avviciniamo l'eterodina al nostro ricevitore e cerchiamo il silenzio fra le due bande di battimenti, troviamo che questo non è già localizzato in un punto solo ma bensì si estende tanto maggiormente quanto più l'eterodina è vicina. Così nella ricezione comune ci è impossibile ricevere con una nota molto bassa di battimenti mentre invece teoricamente dovrebbe essere possibile ottenere l'interferenza anche colla differenza di un solo periodo.

Ambedue i casi sono dovuti al fatto che quando le frequenze sono molto vicine gli audions si mettono ad oscillare in sincronismo influenzandosi a vicenda. Così nel primo caso la zona di silenzio era vasta perchè l'eterodina faceva assumere al ricevitore la sua stessa frequenza non appena la differenza era sufficientemente piccola (o viceversa se la potenza oscillante del ricevitore era maggiore di quella dell'eterodina).

Nel secondo caso era la stessa emissione lontana che obbligava il ricevitore ad oscillare in sincronismo. Lo stesso fatto accade nelle immediate vicinanze di un posto emittente dove è addirittura impossibile provocare i battimenti, poichè il sincronismo si estende e si mantiene in una vasta zona.

Possiamo dunque essere sicuri del buon funzionamento degli oscillatori ed escludere senz'altro la comune credenza che più triodi in parallelo non rendono come un solo di maggiore potenza, perchè è difficile mantenerli in perfetto sincronismo. Invece altre importanti ragioni sono responsabili di questo, ragioni che valgono tanto più nel nostro caso di trasmissioni con onde corte.

Tre sono generalmente i fatti che possono dar luogo a cattivo rendimento e cioè:

Le differenti caratteristiche;

Le oscillazioni parassite;

La capacità effettiva interna dei triodi stessi.

Per quanto uguali possono essere per costruzione ed apparenza, due triodi hanno ben difficilmente le stesse caratteristiche. Ora lavorando in parallelo e quindi con identiche tensioni di griglia e placca è evidente

che non tutte le lampade si trovano nelle migliori condizioni, quindi il rendimento che poteva spingersi al massimo nel caso di una sola lampada deve necessariamente essere minore. Si può rimediare a ciò, facendo che su ogni griglia arrivi una determinata e particolare tensione: il metodo più pratico consiste nell'inserire su ogni griglia un condensatore ed una resistenza possibilmente variabile (v. fig. 333). Con questo artificio è possibile ottenere dei buoni rendimenti anche con grandi differenze di caratteristiche. Spesso però negli stessi collegamenti fra lampada e lampada sta il difetto: è consigliabile curare la simmetria e l'esatta uguaglianza di questi in modo che le particolari correnti debbano percorrere uguali cammini per giungere in punti analoghi.

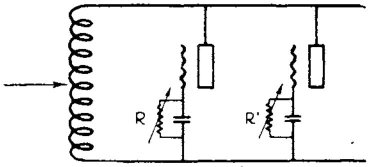


Fig. 333.

Le correnti parassite sono quasi sempre presenti come abbiamo già notato nel caso dell'oscillatore ad una lampada. Esse generalmente utilizzano il circuito oscillante formato dai collegamenti griglia placca e dalle capacità interne delle lampade in serie (fig. 334). La loro lunghezza d'onda dipende dalla lunghezza delle connessioni e dal tipo di valvola usata e quindi dalla sua capacità. Per eliminarle è utile poterle da prima individuare e quindi scegliere il mezzo migliore a seconda della frequenza.

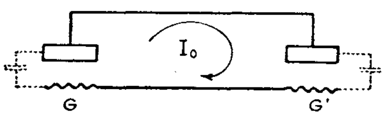


Fig. 334.

Però nel maggior numero dei casi basta l'inserzione di una resistenza anche piccola nel circuito griglia o placca per liberarsene completamente. Occorre però che questa resistenza abbia una capacità infinitesima. Si possono usare anche vere e proprie induttanze poichè la *resistenza* di queste è sufficiente ad impedire il mantenimento delle oscillazioni.

Si è notato che circuiti usanti poca induttanza e grande capacità sono molto più atti a dare luogo alla formazione di oscillazioni parassite. D'altra parte tanto maggiore la sezione dei conduttori tanto maggiore la loro intensità: questa è un'altra ragione che sconsiglia l'uso di grandissime sezioni nei collegamenti e nelle induttanze; infatti oltre a determinare nocive perdite nei conduttori stessi si esalta l'intensità delle correnti parassite, senza del resto che la corrente oscillante principale ne abbia beneficio.

Abbiamo infine l'importante fattore della capacità della lampada. Una differenza di questa, essendo in rapporto diretto colla frequenza, fa sì che i vari triodi si trovino ad oscillare in più o meno buone condi-

zioni e quindi il rendimento diminuisce. Praticamente una differenza del 5 per cento nella capacità griglia placca di due triodi impedisce il loro ottimo funzionamento al di sotto dei 40 metri, mentre per onde più lunghe la percentuale può essere maggiore. Ma un altro fatto molto importante si deve alla capacità delle lampade; esso è elementare ed evidente. Infatti essendo questa capacità in parallelo su quella del circuito oscillante, tanto maggiore sarà il suo valore tanto minore la estrema frequenza generabile.

Quindi agendo essa come un vero e proprio limite nella produzione di correnti *AF* dovrà essere molto piccola se si desiderano raggiungere le più alte frequenze. Di qui la limitazione necessaria del numero dei triodi da utilizzare.

Un' altra importante influenza della capacità delle lampade si nota considerando la costanza delle oscillazioni.

Stabilità della frequenza. — Ciò che si dimostra più difficile a rendere la comunicazione con onde corte perfettamente analoga alle altre, è la instabilità della frequenza dell' emissione.

Svariatissime cause influiscono su ciò, ma prescindendo da quelle esterne, d' aereo ecc. la variazione è dovuta nel maggior numero dei casi ad incostanze del potenziale di placca o dell' accensione e più specialmente a variazioni della capacità propria della lampada. Tutti questi casi, che verremo via via esaminando, (che si accentuano naturalmente se il numero di audions oscillatori è multiplo), possono tuttavia essere ridotti con adatti artifici, ad eccezione dell' ultimo.

Infatti mentre usando un solo audion è sempre possibile fare sì che la capacità del circuito oscillante sia molto grande rispetto a quelle del triodo e quindi ridurre i dannosi effetti della variazione di questa, così non può essere quando la capacità di molti triodi diventa paragonabile a quella del circuito oscillante, necessariamente ridotta. Questa è un' altra ragione che sconsiglia l' uso di oscillatori multipli a frequenza elevata.

Il problema della stabilità d' onda è stato molto considerato in questo recente periodo di evoluzione delle trasmissioni con onde corte e i risultati ottenuti possono considerarsi abbastanza buoni. Si è ricorso fra l'altro all' eccitazione separata delle griglie o della griglia dell' oscillatore aumentando anche fortemente il valore di questa, realizzando così il circuito detto « ad oscillazione obbligata » della fig. 335 che se ben curato permette una trasmissione molto costante anche quando le caratteristiche d' antenna vengano variate (vento ecc.).

Ultimamente si è ricorso alle proprietà oscillatrici dei cristalli per ottenere, dopo sufficiente amplificazione, la necessaria costante corrente

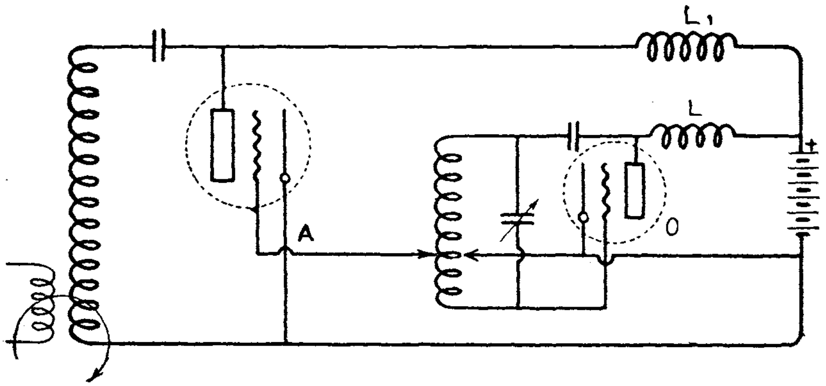


Fig. 335.

alternata sulla griglia dell' oscillatore. In questa parte noi esamineremo molte possibili realizzazioni pratiche di questi sistemi.

Il circuito pratico del trasmettitore. — Ho voluto spiegare elementarmente i principali concetti che regolano il funzionamento dell' audion oscillatore, affinchè questo appaia a chiunque in tutta la sua semplicità e perchè al cospetto di qualsiasi misterioso « circuito » il lettore possa immediatamente intravedere in esso le parti essenziali ed indispensabili ed eventualmente modificarle e migliorarle basandosi sui concetti fondamentali. Nulla quindi dovrei aggiungere nei riguardi del migliore circuito per trasmissione, poichè qualunque dei tanti oggi in uso, non deve far altro che portare l' audion ad oscillare nelle migliori condizioni (cosa fattibile sempre con un po' di cura) e quindi *per qualunque di questi il rendimento è pressochè identico.*

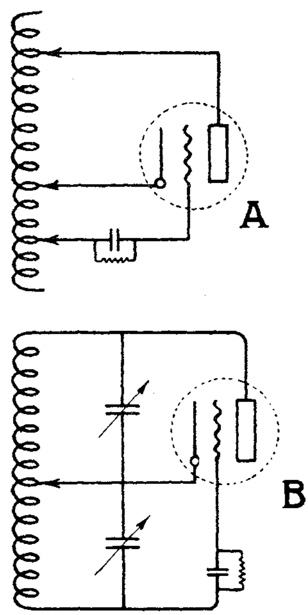


Fig. 336.

Tuttavia poichè la pratica moderna ha suggerito artifici e mezzi per raggiungere con più semplicità e facilità queste migliori condizioni di rendimento, accennerò brevemente ai vari sistemi oggi in uso. Evidentemente l' *oscillatore* ad autoeccita-

zione è sempre necessario; anche se il trasmettitore è eccitato separatamente.

Ora il circuito ad autoeccitazione più semplice e suscettibile a funzione fino alle più alte frequenze [1] è quello che abbiamo considerato a pag. 339, fig. 328. In esso l'accoppiamento è fisso e regolabile sia a mezzo di induttanza (prese multiple), sia a mezzo di capacità (condensatori), (fig. 336, *A* e *B*). In tutti questi casi pratici il potenziale continuo di griglia si ottiene col metodo del condensatore shuntato.

È possibile inserire la batteria *AT* di placca in modo che risulti in parallelo o in serie col circuito placca filamento. Si dice in pratica che si usa *alimentazione in paralello* o *alimentazione in serie* rispettivamente. L'alimentazione in parallelo, appunto perchè è in parallelo, assorbe energia dal circuito oscillante. Per impedire ciò, si inserisce sempre in serie all'*AT*, il più possibile vicino alla placca, una bobina di impedenza o d'arresto. Quando la frequenza è elevata è bene munire ambedue i conduttori *AT* di bobine d'arresto (fig. 337).

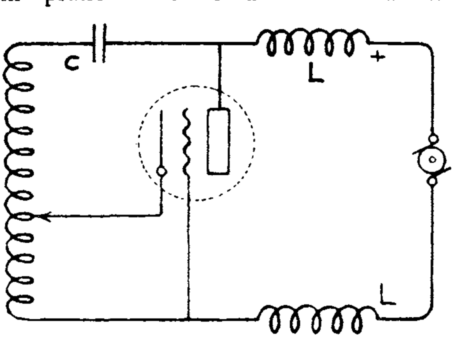


Fig. 337.

Però l'alimentazione in parallelo provocherebbe il corto circuito della batteria *AT* attraverso l'induttanza. Per questo viene inserito un condensatore *C* di sufficiente capacità da lasciare liberamente passare la componente alternata di placca ma da impedire quello della *AT* continua. Quando la frequenza da generare è molto elevata si può fare a meno di questo condensatore spezzando l'induttanza ed inserendo fra i due punti così ottenuti il condensatore variabile d'accordo (figura 338) che però deve potere resistere alla tensione di placca che gli viene applicata.

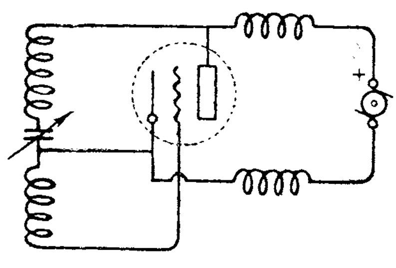


Fig. 338.

L'alimentazione in serie, richiede un condensatore in parallelo sulla batteria *AT* per lasciare libero il passo alla corrente oscillante che tro-

[1] Esso è riconosciuto in pratica col nome di « *circuito Hartley* ».

verebbe una resistenza nell' attraversare la batteria o la macchina generatrice. L' inserzione può essere fatta in qualunque punto del circuito placca ed anche in questo caso è possibile fare a meno del condensatore fisso utilizzando quello variabile col circuito della figura 339 C.

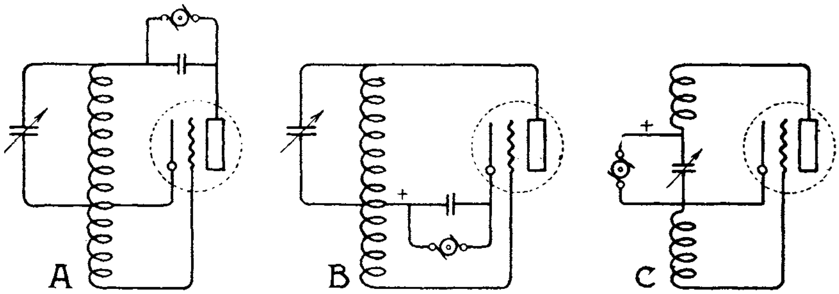


Fig. 339.

Da questo circuito fondamentale ne derivano molti altri che hanno preso svariati nomi. Se l' accoppiamento colla griglia si fa variabile abbiamo il circuito della fig. 340. che fornisce una corrente oscillante spesso superiore a quella del primo, poichè è possibile rendere molto lasco l' accoppiamento fra circuito griglia e placca. Ma (v. pag. 342)

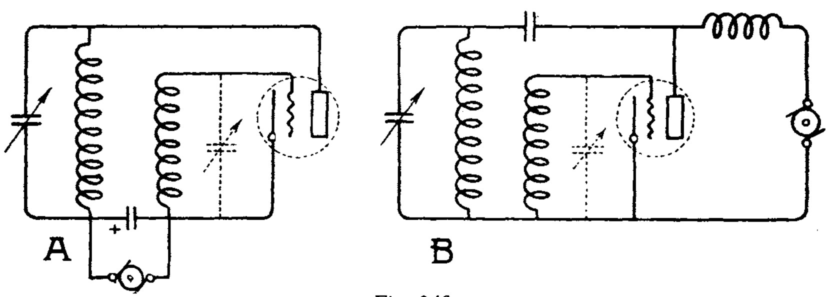


Fig. 340.

bisogna diffidare di ciò poichè essendo le condizioni al limite, il funzionamento può divenire irregolare e saltuario specialmente se si deve trasmettere in codice telegrafico. All' uopo occorre aumentare l' accoppiamento un po' oltre il necessario ed ascoltare ad un ricevitore vicino se la trasmissione segue fedelmente la manipolazione. Se la resistenza di griglia fosse variabile, questa regolazione risulterebbe ancor più facile

Questo circuito che fu molto usato in America prese impropriamente il nome di « reversed feed back » *eccitazione invertita,* poichè la bobina di griglia può considerarsi il ribaltamento dell' ultima sezione di griglia

del circuito Hartley. La fig. 340 mostra esempi di alimentazione in serie e parallelo.

Esiste un altro tipo di oscillatore detto del Meisner, nel quale il circuito oscillante è completamente isolato dall'audion e collegato a questo soltanto induttivamente. Le bobine di griglia e placca sono variamente accoppiabili all'induttanza L_2 così che è possibile coprire una vasta zona di frequenze nelle migliori condizioni. Però quando la frequenza è molto elevata in questo circuito, per effetto di accoppiamenti induttivi e capacitativi possono avere luogo nocivi sfasamenti e energica produzione

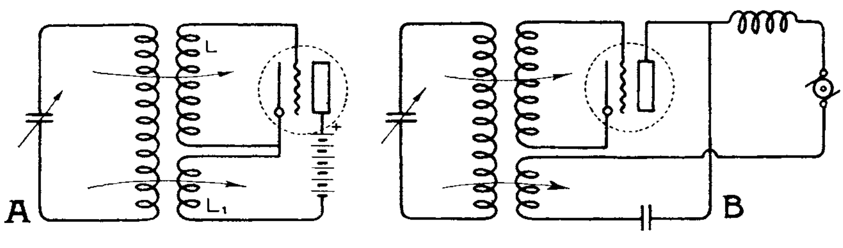


Fig. 341.

di oscillazioni parassite. La fig. 341 *AB* mostra il circuito con alimentazione in serie e parallelo.

Infine esiste un sistema che usa la caduta di tensione attraverso un condensatore, per ottenere l'eccitazione di griglia. La semplicità di questo circuito è molto minore dei suoi svantaggi. Infatti poichè il condensatore *C* determina sia la lunghezza d'onda che l'ammontare della eccitazione di griglia, volendo variare uno di questi fattori si ha la variazione simultanea di ambedue a scapito del rendimento. Inoltre il condensatore variabile deve resistere tanto all'elevata tensione di placca che alla corrente oscillante. Si può diminuire questa difficoltà inserendo un condensatore fisso in *C'*. È conveniente che la resistenza di griglia sia collegata al filamento (fig. 342).

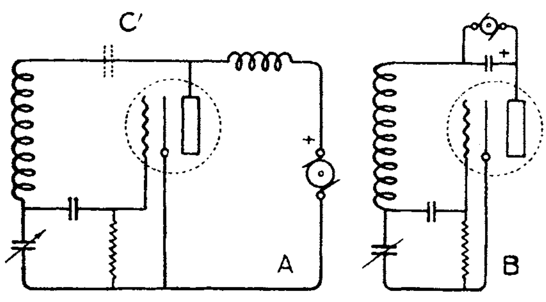


Fig. 342.

Ecco brevemente elencati i circuiti fondamentali della tecnica odierna.

È evidente che da essi o dalla combinazione di essi è possibile realizzarne di nuovi, ma è pure evidente che i risultati saranno nelle migliori condizioni molto simili.

Tuttavia, quando casi speciali lo richiedano, può riuscire utile la scelta di un circuito piuttosto che un altro. È per questo che in seguito cercherò di fornire dati e schiarimenti pratici su numerosi circuiti e sistemi.

CAPITOLO III.

ALIMENTAZIONE CON CORRENTE CONTINUA

Generalità. — Nell'impianto di un posto trasmettitore uno dei principali problemi, dopo quello del sistema radiante, è rappresentato dalla sorgente di *corrente ad* AT necessaria alla alimentazione placca.

Alle caratteristiche principali di questa corrente, alla sua stabilità e alla sua purezza, è strettamente legata l'efficienza del trasmettitore stesso, in modo del tutto speciale poi nel caso di trasmissioni con onde corte.

L'alimentazione placca può ben dividersi in due sistemi: il primo, il più semplice, razionale, efficace, consiste nell'uso di corrente continua assolutamente pura come quella generata da pile o accumulatori. Questo sistema, ideale sia per la grande costanza della corrente stessa, sia per la purezza della medesima e quindi dell'emissione, non è oggi molto usato per l'alto costo d'impianto e di manutenzione necessario. Tuttavia in questi ultimi tempi, data la grande distanza che è possibile varcare con potenze ridotte, si è di nuovo efficacemente ricorso all'alimentazione con pile.

L'altro sistema consiste nel produrre una corrente *pulsante* ad AT sia a mezzo di generatori (dinamo), sia rettificando la corrente alternativa dopo trasformazione, e quindi rendendola il più possibile continua sfruttando l'effetto livellatore di adatte induttanze e capacità.

Questo sistema è quello più usato in pratica, sebbene spesso si tralasci la livellazione della corrente pulsante per semplicità, economia e anche per necessità.

Infine è usata, specialmente da dilettanti, l'alimentazione placca a mezzo di corrente alternata, funzionando il triodo soltanto durante il semiperiodo favorevole o durante ambedue i semiperiodi, quando se ne colleghino due in opposizione.

Alimentazione con pile. — Nella pratica comune la pila tipo Leclanché è quella generalmente usata. Dalla sua invenzione ad oggi essa non ha subito che lievi modificazioni, e poichè si presta specialmente nei casi dove la corrente da erogare non è molto intensa e i

periodi di funzionamento brevi o almeno uguali a quelli di riposo, riesce molto utile per le esigenze radiotelegrafiche.

Il tipo a secco è quello generalmente adottato, sia per le dimensioni ridotte dell'insieme, che per la sua compatezza e trasportabilità.

Senza indagare il complesso fenomeno delle reazioni interne della pila stessa, non ancora ben note del resto, ricordiamo i sistemi costruttivi. In un recipiente formato quasi sempre dall'elettrodo negativo (zinco) è posto il positivo circondato da una soluzione di cloruro d'ammonio e di cloruro di zinco, quest'ultimo allo scopo di ridurre il consumo dello zinco stesso a circuito aperto. La soluzione è immobilizzata a mezzo di segatura, gelatina o altre sostanze colloidali. Infine l'elettrodo positivo è formato da una miscela di carbone minerale e biossido di manganese puro nel caso delle piccole pile, o di un minerale contenente una percentuale più o meno grande di questo nel caso di pile di dimensioni notevoli (pirolusite ecc).

Lo zinco generalmente usato ha uno spessore di qualche decimo di millimetro, a seconda della lunghezza del periodo d'uso. Esso deve essere il più puro possibile per ragioni elettrochimiche, ma nello stesso tempo deve essere meccanicamente resistente per sopportare con successo le operazioni di costruzione. Nella pratica si osservano corrosioni del tutto localizzate nel recipiente di zinco, e ciò è più evidente quando questo abbia una forma cubica anzichè cilindrica, poichè gli angoli determinano una irregolarità notevole nella corrosione dell'elettrodo stesso. Un altro fatto importante è la corrosione continua e locale dello zinco senza produzione alcuna di corrente dovuta principalmente alla irregolare distribuzione di elettricità, cattivo isolamento, e in particolar modo ad impurità del metallo o a irregolarità nella sua struttura. *La presenza di traccie di rame anche minime riduce in modo notevolissimo la durata della pila* producendo dei veri e propri corti circuiti interni. Il nocivo effetto di piccole particelle di altri metalli è relativamente ridotto dal fenomeno della polarizzazione, che li isola praticamente dal circuito. Per evitare il consumo dello zinco si ricorre spesso alla sua amalgamazione. Ma ciò richiede un maggiore spessore del metallo stesso per evitarne la fragilità e quindi la minore resistenza alle operazioni di costruzione. Un altro fattore che può determinare differenti corrosioni dello zinco è la resistenza dell'elettrolita non costante nei vari punti.

L'altro elettrodo è formato da un carbone circondato dalla miscela di manganese. La resistenza elettrica del biossido di manganese è così elevata che occorre mescolare intimamente a questo del carbone in sottili granuli o addirittura della grafite. Non occorre ricordare che lo scopo

del manganese è di depolarizzatore. La conduttività dei granuli di carbone e le dimensioni di questi influiscono sulle caratteristiche della pila e così la purezza del biossido stesso che non deve contenere la più piccola traccia di rame, nichel o cobalto che rovinerebbero la pila in poco tempo. Il ferro invece può essere tollerato fino al 2-3 per cento. Altri fattori importanti sono la finezza del biossido e la porosità dell' insieme, poichè la potenza depolarizzatrice dipende appunto dalla superficie totale di questo. Se si aggiunge la cura necessaria ad ottenere un' elettrolita uniforme e puro, la cura nell' isolamento e infine della costruzione e confezione, si comprende chiaramente quanto numerose siano le qualità alle quali una batteria di pile *AT* deve rispondere per essere classificata ottima ed utile.

Generalmente la trasmissione con pile è vantaggiosa quando la potenza è ridotta a qualche decina di watts, e quindi la tensione necessaria (specialmente colle lampade a consumo ridotto d' oggi) è relativamente bassa. Sino a 250-300 volts placca e con un consumo di 25-30 milliamperes al massimo è conveniente l' uso della comune pila da lampada tascabile (purchè di *buona* e recente costruzione) o delle solite batterie di pile per ricezione (fig. 343). Naturalmente poi nel caso di funzionamento saltuario, questo limite può essere di molto superato, a scapito però della durata della batteria.

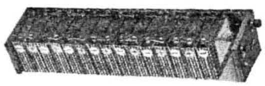


Fig. 343.

Per operare invece in condizioni normali è bene, quando la corrente supera i 50 milliamperes, ricorrere a tipi maggiori costruiti appositamente, coi quali si potrà arrivare senza difficoltà ai 50 - 150 milliamperes.

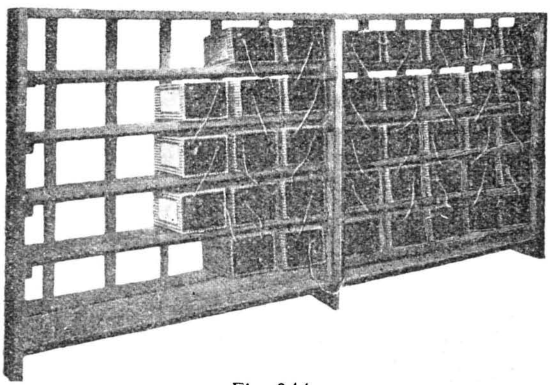


Fig. 344.

Le singole batterie debbono disporsi in un locale ben secco, distanziate fra loro e dal piano che le riceve. È necessario curare il loro isolamento in modo tanto maggiore quanto più grande è la tensione totale. Non sembri ciò una precauzione inutile, poichè da essa dipende una più lunga vita della batteria e un migliore funzionamento. Sotto questo punto di vista il

sistema di montaggio della fig. 344 è molto indicato. D'altra parte è utile, nei periodi di riposo, spezzare la batteria ogni 150-200 wolts, sia per sicurezza personale, sia per aumentarne la durata. All'uopo si inseriranno ogni tanto dei semplici interrutori a leva.

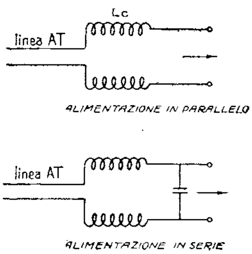


Fig. 345.

Non importa che la batteria sia prossima al luogo di utilizzazione: essa può essere anche lontana, purchè la linea d'apporto sia ben isolata e munita in fine di un dispositivo per impedire il passaggio della corrente AF verso la batteria e facilitare quello attraverso i suoi due estremi nel caso dell'alimentazione in serie (fig. 345).

La durata della batteria dipende dalla frequenza e lunghezza dei periodi di lavoro quando si supponga un carico normale.

La scarica *spontanea*, cioè la diminuzione di capacità che si verifica col tempo a circuito aperto, può essere esigua quando la costruzione delle pile è coscienziosamente eseguita. La curva della fig. 346 esprime infatti l'andamento della tensione e della capacità durante un lungo periodo di tempo e per i tipi migliori che il commerio può fornire. La capacità va diminuendo con la frequenza delle scariche e con l'intensità di queste.

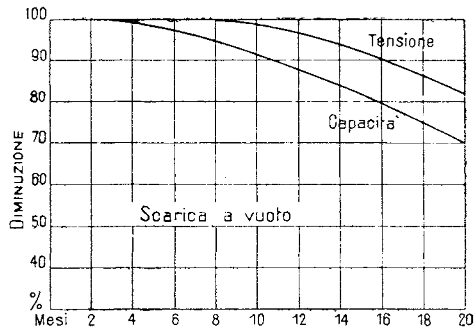


Fig. 346.

Se si stabilisce di considerare come capacità della batteria la quantità di corrente erogabile prima che la tensione sia ridotta a metà dell'iniziale, possiamo esprimere la sua variazione con le curve della fig. 347 ottenute esperimentalmente durante un lungo periodo di tempo con una scarica intermittente (telegrafica) di circa quattro ore al giorno, usando ottime batterie da ricezione.

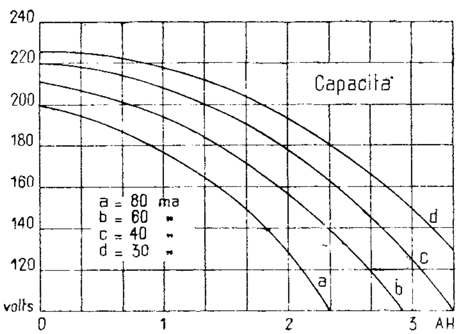


Fig. 347.

Analogamente possiamo dedurre la *durata* di una buona batteria in relazione alla frequenza del lavoro e del carico assorbito dalle curve della fig. 348.

Dall' esame delle curve caratteristiche appare subito evidente la convenienza di periodi brevi sia pur frequenti di lavoro e di un carico non eccessivo.

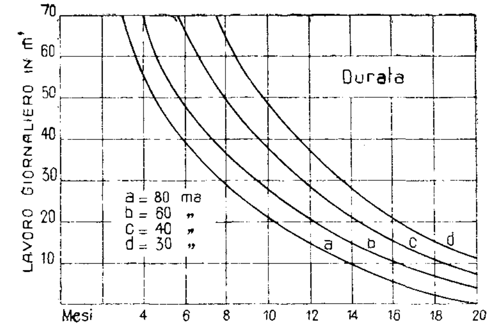


Fig. 348.

La trasmissione telefonica o modulata non è quindi molto conveniente per le usuali batterie a meno che i periodi di lavoro non siano brevi o il consumo molto ridotto.

Usando invece la trasmissione telegrafica Morse i massimi normali possono essere spesso superati senza danno.

È però indispensabile che nei periodi fra un segnale e l' altro non circoli corrente o per lo meno questa sia ridotta ad una esigua frazione della totale. In questo caso più che in ogni altro è necessaria la scrupolosa messa a punto dell' oscillatore per ottenere il rendimento migliore e quindi i massimi effetti col minimo consumo.

Un trasmettitore di piccola e media potenza operato a pile e nel quale ogni più scrupolosa precauzione non sia stata dimenticata, richiederà il ricambio delle batterie con una frequenza minore di quella richesta nella ricezione usuale, godrà degli inestimabili vantaggi di poter funzionare in qualsiasi momento e realizzerà le migliori condizioni di rendimento, stabilità di frequenza e purezza di nota (1).

Alimentazione con accumulatori. — A tutt' altro genere di esigenze sebbene allo stesso risultato risponde l' accumulatore.

Lo scopo di ambedue i generatori è di fornire una corrente *assolutamente* continua, costante e pura, ma mentre il primo mira nel maggior numero dei casi ad unire a questi pregi la leggerezza, la trasportabiliià

(1) È ormai provata la possibilità di raggiungere enormi distanze con potenze dell' ordine del *millesimo di watt* quando si realizzi un' ottima stabilità e una nota perfetta dei segnali. Già con onde di 200 metri di lunghezza si ebbero comunicazioni regolari a 2500 km. con potenze comprese fra 5 centesimi e 5 millesimi di watt. Recentemente fu possibile una comunicazione con gli antipodi con una potenza *totale* spesa (*accensione* e *placca*) inferiore ai 4 decimi di watt.

e il poco ingombro, così da dimostrarsi particolarmente adatto per piccoli impianti mobili, il secondo è necessariamente prerogativa di impianti fissi, perchè peso, ingombro e difficoltà di trasporto uniti ad altre caratteristiche qualità ne sconsigliano generalmente altre applicazioni.

L'accumulatore non ha quindi, rispetto alla pila che un merito: una maggiore durata.

Ora sebbene grandissimi altri svantaggi si contrappongano a questo merito, nessun altro sistema si presenta (nell'impianto di un posto trasmettitore fisso) così ideale e così perfetto come quello di un'efficiente batteria di accumulatori razionalmente costruita, installata e munita di un pratico e sicuro sistema di carica.

Fra i vari tipi di accumulatori quelli più usati sono quelli « a piombo » e a « ferro-nichel ».

Nella pratica radioelettrica ambedue i tipi hanno ricevuto notevoli applicazioni, con una leggera preferenza per il secondo che dimostra una durata maggiore, non teme sovracarichi o scariche complete e si mantiene lungamente in ottime condizioni. Fra gli svantaggi che presenta questo accumulatore nella realizzazione di una batteria *AT* primeggia la necessità di un numero di elementi almeno doppio degli equivalenti a piombo, poichè la f. e. m. sorpassa di poco il volt, dopo un certo tempo di funzionamento. Più precisamente questa f. e. m. varia da 1,4 volts circa a piena carica fino a 0,8 volts verso la fine della scarica. Quindi in una batteria di cento elementi la tensione va diminuendo da 140 a 80 volts in breve tempo. Quando la scarica richiesta è notevole rispetto alle dimensioni della batteria occorre tenere presente questo fatto che è sufficiente a provocare spesso variazioni di frequenza nocive. In una batteria a piombo invece, da una tensione di 200-210 volts a piena carica si potrà al massimo arrivare a 180-170 volts alla fine. Ciò è senza dubbio un grande vantaggio dell'accumulatore a piombo. Economicamente la batteria ferro-nichel è più costosa di quella a piombo, specialmente se si acquistano batterie già confezionate. Tuttavia, costruendosela con propri mezzi, essa può riuscire alle volte economica quando si disponga di una vecchia e grossa batteria Edison da utilizzare. Nei riguardi della capacità e del peso il vantaggio è ancora di questo accumulatore.

L'accumulatore a piombo, oltre alla maggiore f. e. m. si presta ad essere più facilmente costruito da chiunque, e il suo rendimento, cioè rapporto fra le energie di carica e scarica è maggiore. Tuttavia, specialmente quando il numero degli elementi è molto grande, occorre seguire ogni massima precauzione per ovviare agli innumerevoli incon-

venienti che esso presenta. Primo fra tutti è la *solfatazione* che ha luogo ben presto non appena l'accumulatore è lasciato, scarico, a se stesso. Di qui la necessità di una carica anche breve, giornaliera o settimanale alla batteria a seconda dell'uso, e quindi di disporre di un pratico caricatore. L'altro principale difetto è la corrosione che ha luogo generalmente agli *estremi* delle placche stesse. Ciò rappresenta lo svantaggio maggiore riscontrabile in pratica poichè in breve tempo possono prodursi in svariatissimi punti della batteria corrosioni complete di reofori, serrafili ecc. rendendo dubbioso il funzionamento, interrompendolo alle volte e sempre aumentando di molto la resistenza della batteria stessa.

È allora conveniente adottare: La batteria ferro-nichel: quando essa deve rimanere dopo brevi periodi di funzionamento lungo tempo in riposo senza ricevere alcuna cura; quando non sia nociva una caduta di potenziale del 50 per cento fra l'inizio e la fine della scarica, quando si richieda maggior leggerezza e una relativa maggiore durata. La batteria a piombo: quando l'uso sia giornaliero e costante così che essa sia mantenuta sempre sufficientemente carica; quando si richieda molta costanza di potenziale, ingombro minore o tensione maggiore a parità di elementi.

Tutto ciò prescindendo dal fattore economico che può alle volte influire notevolmente nella scelta.

Batterie di accumulatori ferro-nichel. — Nulla di più semplice di una batteria *AT* composta di elementi Edison. In commercio si trovano facilmente e relativamente a prezzo non molto elevato, ottime batterie complete di questo tipo, ma chiunque abbia a disposizione vecchie placche di accumulatore *BT* del tipo Edison, può con molta economia raggiungere i medesimi risultati. A meno di non disporre di speciali recipienti, è la provetta per analisi chimica di 25 mm. di diametro che conviene adottare nella generalità dei casi.

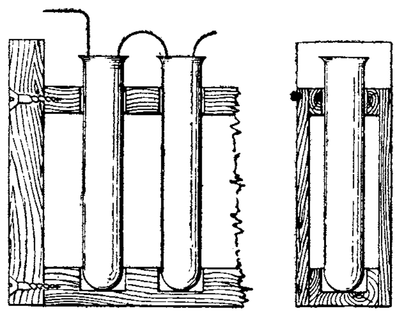


Fig. 349.

Le provette si raggruppano di 50 in 50 cercando di non impedire la ispezione all'interno attraverso il vetro. È quindi ottima cosa usare un sostegno come alla figura 349, con un'unica fila di 30 provette o al massimo con due file di 25, così che le singole batterie inseri-

bili o asportabili a mezzo di adatte « spine » possano essere facilmente esaminate.

Costruiti i singoli sostegni che andranno a loro volta applicati ad un sostegno principale (armadio, scansia ecc.) si può iniziare la costruzione della batteria. L'accumulatore Edison è noto per la sua resistenza a qualunque maltrattamento: quindi riuscirà piuttosto difficile trovarne qualcuno sufficientemente usato.

Una batteria qualunque in qualunque condizione si trovi servirà ottimamente. Se la batteria acquistata contiene ancora l'elettrolita, occorre procedere con molta precauzione poichè la soluzione di potassa caustica è molto pericolosa per la pelle. Si vuota il recipiente, forandolo eventualmente verso l'orlo superiore e tagliato il coperchio si immerge il pacco della placche in acqua corrente per un certo tempo. La sottile placca negativa contiene delle aperture rettangolari nelle quali è incastrata una griglia d'acciaio che contiene dell'ossido di ferro compresso ad alta pressione. Sono queste griglie che occorre togliere per formare le placche negative della nostra batteria. Le placche positive invece, hanno analoghe aperture, ma la materia positiva è avvolta a spirale attorno un'anima interna con strati alternati di nichel e idrato di nichel. Si formano così dei « tubi » che sono saldati alle estremità alle placche principali. Questi tubi, tolti dal loro supporto formano l'elettrodo positivo della nostra batteria. Dopo avere con cura tolto nel miglior modo i vari componenti dai loro supporti occorre procedere alla parte più delicata del lavoro; saldare cioè coppie di elettrodi negativi e positivi. Occorre usare del filo di nichel puro che si collega strettamente alle due placche opposte. La placca negativa si fora verso l'estremità superiore, quindi si passa varie volte del filo di nichel attraverso il foro e si stringe alfine fortemente. Per la placca positiva non occorre generalmente eseguire il foro ma basta stringere il filo attorno ad uno o due bastoncini positivi. Questa operazione non è così facile come potrebbe sembrare e dalla sua perfezione dipende *essenzialmente* la bontà del lavoro. Il foro della lamina negativa è difficoltoso a meno di non possedere un trapano velocissimo. Si può efficacemente ricorrere ai procedimenti della saldatura elettrica per tutta l'operazione. All'uopo su un comune trasformatore da lampada ad arco si avvolgono 5 o 6 spire di *grosso* filo di rame. Un'estremità si pone in contatto con la lamina e coll'altra munita di una punta accuminata si tocca appena il punto da forare. Occorre fare alcune prove e regolare il numero migliore delle spire secondarie.

Collo stesso artificio si può ad operazione ultimata, cioè dopo avere ben stretto il filo di nichel, saldarlo leggermente, in un solo punto alla

lamina stessa. Occorre apprendere però con un po' di esercizio il segreto del successo al quale naturalmente ognuno può arrivare.

Quando la saldatura non riuscisse perfetta o la lamina stessa ne risultasse di molto indebolita, è preferibile accontentarsi della sola unione per contatto. Una soluzione al 20 per cento di potassa caustica in acqua distillata rende la batteria pronta alla carica e quindi immediatamente usabile. Non occorre alcuna « formazione » e la manutenzione si riduce all'aggiunta periodica di acqua distillata. La batteria restando abbandonata a sè stessa perde il 20 per cento della carica e conserva il resto per un tempo indefinito. Sotto questi riguardi essa si presta benissimo anche per gli usi comuni di ricezione. Una precauzione importante è quella di mettere una valvola adatta in serie sulla corrente AT alla uscita dalla batteria per evitare effetti che possono divenire disastrosi. Infatti nella batteria è immagazzinata una quantità di elettricità capace di fornire una potenza relativamente piccola se usata ad alimentare il trasmettitore e quindi per un lento esaurimento ma straordinariamente grande se un corto circuito producesse la sua scarica istantanea. Supponiamo per esempio una batteria di 1000 volts che abbia la capacità di 2 amper-ora e quindi di 2000 wattora.

Se uno sfortunato corto circuito la scaricasse in soli 100 secondi l'effetto di questo sarebbe paragonabile a quello di una potenza 36 volte maggiore cioè di 72 chilowatts; e se la resistenza del corto circuito fosse estremamente piccola è evidente che l'entità di questo potrebbe raggiungere valori ancora maggiori. Sebbene la resistenza interna degli accumulatori stessi impedisca una scarica così rapida, tuttavia è sempre bene guardarsene. Occorre quindi inserire una ventina di centimetri di sottile filo di piombo nel circuito della batteria.

Batterie di accumulatori a piombo. — Se mettiamo dei ponti di filo di piombo fra una e l'altra delle nostre provette in modo che le estremità di questi peschino in una soluzione di acido solforico avremo costruito la più semplice batteria di accumulatori.

La sua capacità è tuttavia troppo esigua, e per ottenere un pratico sfruttamento occorrerà aumentare le dimensioni degli elettrodi, costruendoli in lastra di dimensioni maggiori.

Ciò però richiede una lunghissima formazione.

Questo sistema di batteria non è quindi raccomandabile che per dimensioni *molto ampie* degli elettrodi e allorchè si dispone almeno per i primi tempi di un sistema di carica continuativo.

La figura 350 mostra un tipo di batteria da me realizzato, che

unisce ad una capacità relativamente grande e ad un ingombro minimo, la semplicità portata al limite di costruzione e materiale. Infatti ogni lamina di piombo fa contemporaneamente da recipiente, da elettrodo positivo e da elettrodo negativo. Lo spazio fra lamine e lamine può essere ridotto a qualche millimetro, così che una batteria di tensione anche elevata risulta molto poco ingombrante.

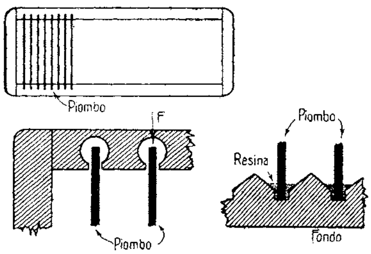
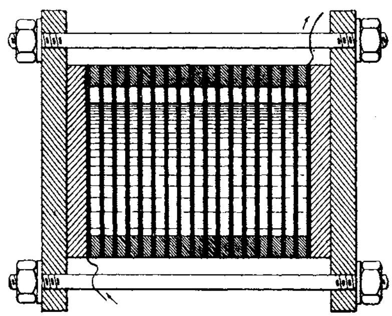


Fig. 350.

Le lamine di 1.5 millimetri di spessore hanno una superficie di almeno 70-80 cm.^{2} o anche più se si desidera accorciare il periodo di formazione.

Si costruisce un astuccio in legno, preferibilmente duro, le pareti del quale siano scanalate come alla figura in modo che possano ricevere a forte sfregamento le lamine di piombo. Un ulteriore perfezionamento consiste nel forare longitudinalmente ogni scanalatura come nel punto *F* della figura, in modo che l'estremo della lamina si trovi ad arrivare nella zona forata. A batteria ultimata tutti i fori si riempiono di resina o paraffina ecc. rendendo in questo modo assoluta la tenuta dei singoli recipienti.

Ad intervalli di qualche anno è utile lavare bene il recipiente ed eventualmente cambiare l'elettrolita. La capacità, specialmente se il periodo di formazione non è stato molto lungo, andrà via via aumentando con l'uso.


Fig. 351.

Un tipo industriale ancora più semplice e razionale (1) consiste nel sovrapporre tanti dischi di lamiera di piombo separati da anelli di gomma indurita (ebanite bakelite ecc.). Il tutto viene poi pressato da tiranti laterali (fig. 351).

Questo tipo di batteria elimina tutti gli inconvenienti che si riscontrano nelle batterie di molti elementi, poichè ogni blocco (di 100-150 wolts) rappresenta, per la sua compatezza, un elemento a sè.

Altri vantaggi sono la minima resistenza interna, la mancanza di

(1) Brev. dell'A.

giunti fra gli elementi e la possibilità di ricambio degli elettrodi, che rende eterna la batteria stessa.

La costruzione richiede cura e precisione; per una realizzazione più facile può servire un altro mio tipo di accumulatore che si presta molto bene a formare batterie ad *AT* anche potenti con mezzi semplici ed economici.

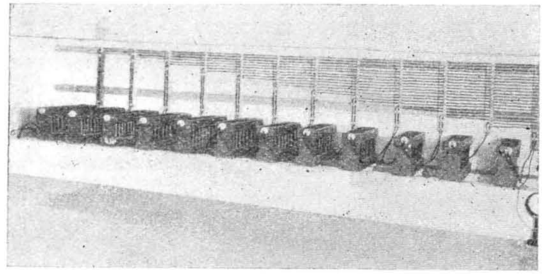


Fig. 352.

La fotografia della fig. 352 mostra appunto una batteria di questo genere che serve per esperienze in laboratorio. Il principio dell'accumutore è molto semplice.

Gli elettrodi sono formati con rottami di piombo (preferibilmente spugna di piombo), ma invece di essere affiancati come si usa generalmente, essi sono sovrapposti. Uno strato di vetro (*d*) pesto impedisce il contatto diretto ed un tubetto isolante (*e*) protegge il reoforo negativo (*f*) che sale dal fondo del recipiente (*b*) (fig. 353).

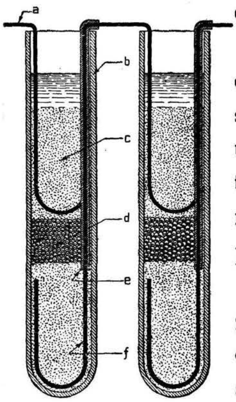


Fig. 353.

Il reoforo positivo discende direttamente al fondo del recipiente vicino, evitando in questo modo la saldatura fra i vari elementi. Praticamente si può usare del filo di piombo di due-tre millimetri. Si tagliano dei pezzi sufficientemente lunghi per potere ricevere la forma della figura, e si infila nell' ultima porzione di questi un tubetto di gomma.

Si costruiscono tanti di questi elettrodi quanti sono gli accumulatori e, dopo avere provveduto il piombo e il vetro pesto, si procede al montaggio. Il piombo si ottiene facilmente fondendone dei rottami e versando il metallo liquido attraverso ad un lamierino forato. All'uopo il piombo deve essere molto caldo e presentare un colore giallastro.

A circa un metro dal lamierino si pone un vasto recipiente pieno d'acqua al contatto della quale il piombo assume la forma spugnosa necessaria. La buona qualità di questa è importante, specialmente nella realizzazione di batterie molto piccole; essa dipende dalla distanza fra il lamierino e l'acqua e dalla forma e grandezza dei buchi in questo. Il vetro pesto non si trova in commercio ed occorre fabbricarselo.

A seconda della grandezza dell' accumulatore si acquistano rottami più o meno grossi di vetro che si pestano in un cassone di legno con un martello, facendo spesso passare il materiale ottenuto attraverso setacci di varia misura. Eliminati infine i pezzi troppo grandi e la polvere resta una massa omogenea utilissima al nostro scopo.

Per il montaggio si adattano da prima tutti gli elettrodi e si dispone al fondo uno strato di piombo fino a raggiungere un terzo dell' altezza totale. Una volta sistemato questo strato in tutti i recipienti già disposti nelle rispettive cassette (fig. 354), si versa lo strato vetroso per due o tre centimetri e in fine l' ultimo strato di piombo.

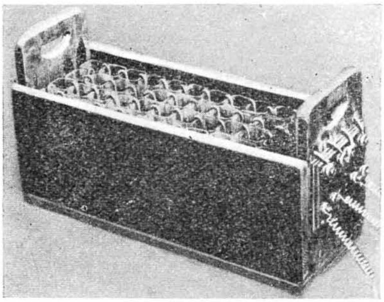


Fig. 354.

È bene procedere per gradi e contemporaneamente per tutti gli elementi per mantenere l' uniformità della batteria. Essa dopo tre o quattro cariche può già funzionare, sebbene per poco tempo, migliorandosi sempre più coll' uso in un tempo molto breve. All' uopo è indispensabile, specialmente nei primi tempi, poterla facilmente mettere in carica. È preferibile che la tensione di carica sia sufficientemente alta e non richieda l' aggruppamento in parallelo delle varie batterie o di gruppi di queste, per evitare complicazioni nei collegamenti e per un passaggio più sollecito dalla carica alla scarica. L' altro sistema però è spesso indispensabile. Infatti esso permette con una tensione unitaria ridotta di avere, coll' inserzione in serie delle varie batterie, corrente a qualunque tensione. Ciò è un' utilissima applicazione quando si dispone di una rete industriale a corrente continua.

I serrafili finali della batteria debbono essere ben collegati ai fili di piombo rispettivi per evitare la certa ossidazione, anzi è sempre preferibile stendere uno spesso strato di vernice o di resina sul reoforo stesso.

Questa batteria presenta un' elevata resistenza interna che non danneggia il funzionamento, ma bensì evita i danni dei corti circuiti. Infatti la corrente di scarica, qualunque sia la resistenza esterna, non può mai superare un massimo, che per le dimensioni usuali è compreso fra 200 e 2000 milliamperes.

Questa batteria è stata in funzione per vari anni nel mio laboratorio, restando scarica vari mesi consecutivi senza danno. Pure da vari anni

batterie analoghe funzionano egregiamente nell' Università di Bologna e in altri luoghi.

In quanto alle dimensioni del recipiente si può mantenere la provetta di 30 millimetri finchè la corrente di scarica non supera i 100 milliamperes. Fino a 200 milliamperes occorre un diametro di almeno 40 millimetri e il recipiente può farsi anche parallepipedo. Oltre i 300 milliamperes i casi di stazioni esperimentali diventano più rari. Tuttavia si può adottare fino a 600 ma. il diametro di 50 millimetri e fino ad 1 A quello di 60.

Le altezze sono generalmente 4-5 volte il diametro per i primi due tipi e 2-3 volte per gli altri. Come dato di fatto ricorderò che una batteria capace di fornire 200 milliamperes sotto 600 volts richiede circa 120 chilogrammi di piombo, una ventina di chilogrammi di vetro pesto, qualche chilogrammo di filo di piombo di 2-3 millimetri ed occupa un' area di circa un metro quadrato.

Carica delle batterie AT. — Il sistema di carica, come già si accennò, si può dividere in due categorie, e cioè a *bassa* o a *alta* tensione. Tutti i generatori o convertitori usati per la carica delle batterie BT possono essere felicemente usati. La batteria deve all' uopo collegarsi in gruppi di tensione inferiore del 30-40 $^0/_0$ di quella disponibile, quindi è necessario l' accoppiamento in quantità alla carica e in serie alla scarica. Per realizzare questo accoppiamento il sistema più pratico è quello di inserire vari commutatori, collegandoli fra loro e alle batterie come alla fig. 355. Questi possono essere comandabili contemporaneamente rendendo il passaggio da carica a scarica pressochè istantaneo.

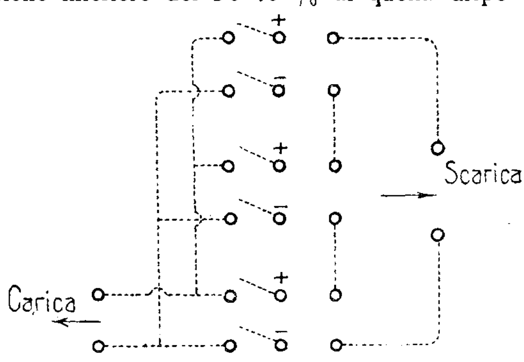


Fig. 355.

Naturalmente occorre che tutte le batterie abbiano lo stesso numero di elementi per mantenerle in uguali condizioni di carica. Questo sistema presenta grandissimi vantaggi su ogni altro, ma ha il difetto di richiedere un commutatore molto prossimo alla batteria per evitare uno sviluppo eccessivo di conduttori. La batteria deve quindi essere vicina al trasmettitore a meno di non eseguire una commutazione meccanica a distanza.

L'altro sistema ad alta tensione, più costoso e complicato, presenta sul primo vari vantaggi.

La batteria può anzitutto essere collocata ovunque e quindi dimenticata per lunghi periodi di tempo fino ad una periodica visita od ispezione.

Essa è collegata al trasmettitore con due soli fili e la carica si esegue senza alcuna commutazione.

Tutti i sistemi di rettificazione descritti al capitolo seguente possono usarsi per caricare la batteria, ma fra tutti il più raccomandabile è quello a valvola elettronica. Col sistema elettronico è possibile lasciare sempre inserito il raddrizzatore che entra in funzione quando si accendono i filamenti. La valvola del tipo *Tungar* è conveniente, poichè, data la debole corrente necessaria è possibile mantenere i filamenti a temperatura molto bassa e quindi prolungarne di molto la durata. È necessario però dividere la tensione in un numero multiplo di lampade, tenendo presente di non eccedere al massimo i 130 volts ognuna. Questo è già un limite che è bene non raggiungere mai, poichè se la tensione è troppo elevata, la ionizzazione interna è eccessiva, la corrente aumenta di molto e il funzionamento irregolare determina ben presto la fine della lampada.

Se la tensione è elevata e non si vuole ricorrere al collegamento in parallelo, questo convertitore non è più alla portata di tutti, poichè ogni lampada della serie richiede un circuito separato d'accensione. Coloro che desiderassero tuttavia adottare questo sistema, possano usare piccoli trasformatori per campanelli, uno per lampada. Altrimenti, disponendo di un vecchio trasformatore (30-50 watts) si toglie il secondario e al suo posto si mettono tanti avvolgimenti separati quante sono le lampade con un numero di spire sufficiente a fornire la tensione necessaria. *L'isolamento fra gli avvolgimenti deve potere resistere alla tensione che verrà applicata fra uno e l'altro.* Questo convertitore, costoso e di laboriosa costruzione, ha però il vantaggio di potere funzionare colla più assoluta certezza, senza alcuna manutenzione e cura, con buon rendimento e con lunga vita.

Per la sua manovra basta che il primario del trasformatore d'accensione sia comandabile (a qualunque distanza) dal posto d'utilizzazione per iniziare o interrompere la carica.

Il convertitore a scarica nel vuoto (vedi cap. 4°) è pure molto pratico (il più pratico senza dubbio), sebbene la corrente erogata sia minore. Esso non richiede che di essere inserito sulla corrente alternata da raddrizzare, e può pure rimanere costantemente sulla batteria, poichè la carica si comanda al primario del trasformatore *AT*.

Il raddrizzatore a valvola elettronica a vuoto spinto non è consigliabile che in casi speciali, sia per l'alto costo sia per il rendimento non molto elevato data la piccola potenza e il potenziale relativamente basso.

Invece un buon convertitore elettrolitico *con elettrodi e elettrolita puri,* nel quale la tensione non sorpassi i 25-30 volts per elemento è certamente il più pratico dei convertitori nei riguardi dell'economia e del funzionamento. Dà buoni risultati la combinazione dei due sistemi di carica: alta e bassa tensione. La batteria (che si trova anche molto distante dal laboratorio) può essere inserita in parallelo o in serie. La carica si esegue a bassa tensione con un convertitore adatto qualunque: essa è periodica e prolungata. Invece se durante il funzionamento, si desidera utilizzare qualche istante di riposo per ricaricare la batteria si usa un convertitore elettrolitico (o elettronico) ad *AT* il quale può essere inserito istantaneamente.

Con questo sistema si può spesso operare il trasmettitore anche con la batteria in carica senza che ciò danneggi di molto la purezza della nota. Per potenze notevoli (ordine del chilowatt) il convertitore migliore è generalmente quello sincrono o addirittura il generatore separato. In quest'ultimo caso è possibile utilizzare batteria e generatore separatamente o collegarli in serie per ottenere una tensione raddoppiata.

I generatori elettromagnetici ad AT. — Entriamo ora nella categoria delle *correnti pulsanti,* dirette cioè sempre nello stesso senso ma non continue a cagione del raddrizzamento necessario al collettore. Evidentemente queste non sono che correnti alternate raddrizzate con un convertitore sincrono (collettore), v. cap. 4° [1].

La dinamo ad *alta tensione* presenta generalmente rispetto al tipo a bassa tensione ben poche differenze: un migliore isolamento innanzi tutto, una cura speciale posta nella commutazione ed una eccitazione generalmente a bassa tensione e quindi separata. Praticamente è possibile produrre con un'unica macchina una tensione massima di 1000-2000 volts. Oltre a questo limite occorre collegare varie macchine in serie [2].

Una disposizione molto usata è quella di collocare il motore fra due generatrici accoppiandolo direttamente a queste. Altre disposizioni comuni della pratica sono illustrate dalle figure 356 e 357. Allo

[1] Suppongo che il lettore conosca bene il funzionamento almeno elementare del generatore di corrente continua (dinamo), e quindi non richiamo qui alcun concetto teorico, rimandando i desiderosi di notizie a particolari trattati.

[2] Nel caso di potenze dell'ordine del kw.

infuori di ogni diffetto elettrico e meccanico una dinamo ad alta tensione può presentare quello della incostanza della sua f. e. m. con grave danno della stabilità d'onda. All'uopo è necessario che la potenza del motore sia molto più grande di quella della dinamo per evitare salti di velocità

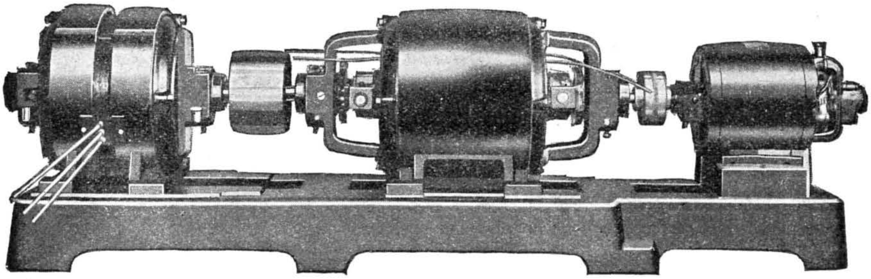


Fig. 356.

e quindi variazioni di tensione al variare del carico. Ciò è specialmente importante nelle trasmissioni telegrafiche dove si passa dal massimo al minimo carico continuamente. Quando la potenza del generatore è molto piccola si può spesso migliorare questo difetto callettando sull'albero

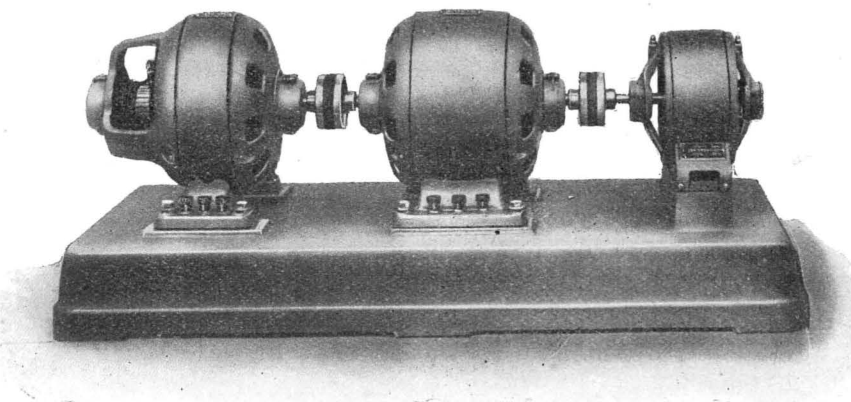


Fig. 357.

un pesante volano stabilizzatore. L'eccitazione del campo della dinamo ha una importanza capitale sulla stabilità della f. e. m. È noto che il generatore di corrente può possedere l'eccitazione in serie, o in parallelo o ambedue le eccitazioni (*coumpound*). È questa ultima quella da preferirsi nei riguardi della costanza della tensione, ma ciò, specialmente nelle macchine a potenziale molto alto, richiede una grandissima cura di isolamento. Una dinamo così eccitata e quindi da preferirsi soltanto

quando la ditta costruttrice sia sicuramente seria ed esperimentata. Nella pratica si ricorre alla autoeccitazione per tensioni relativamente ridotte (< di 600 volts), mentre a tensioni maggiori fino alle più alte si preferisce quasi sempre l'eccitazione separata. La corrente necessaria (generalmente a bassa tensione) viene prodotta sia da un'altra macchina a sorgente, o in un secondo avvolgimento e quindi coll'aiuto di un secondo collettore *BT*. Oltre al metodo *coumponud* per la regolazione automatica della tensione ne esistono moltissimi altri più o meno complicati. Generalmente però i generatori del commercio, salvo qualche eccezione, ne sono privi; quindi non sarà fuor di luogo dare qui qualche schiarimento per chi eventualmente avesse necessità di diminuire questo difetto nel proprio generatore. Per usi telegrafici, cioè per rimediare la variazione di velocità allorchè il tasto è manipolato, si può ricorrere felicemente al sistema della fig. 358, utile finchè la potenza non è molto grande.

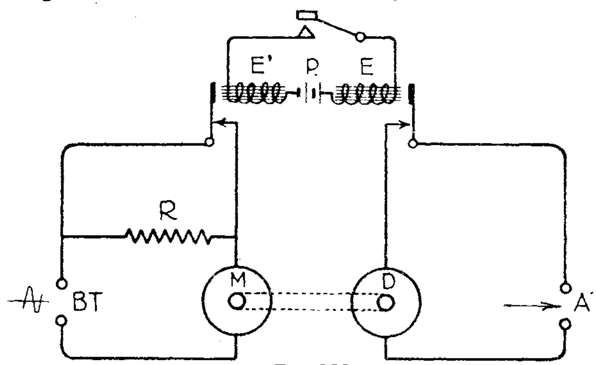


Fig. 358.

In serie sulla linea di alimentazione del motore si pone una resistenza variabile *R* (una induttanza se la corrente è alternata). Il tasto in serie coi relays *E*, ed *E'* ed una pila chiude, una volta abbassato, il circuito *AT*, e nello stesso tempo mette in corto circuito la resistenza *R*. Si regola quindi questa resistenza in modo che abbassando il tasto non si verifichi nessuna variazione di velocità. I contatti debbono essere buoni e molto rapidi, ma tuttavia quando la potenza è notevole le scintille all'apertura e alla chiusura del circuito diventano troppo forti per permettere un buon funzionamento dell'insieme. Il regolatore in questo caso si presenta più difficile da costruire con semplici mezzi, e quindi ne tralascio la descrizione, rimandando il lettore ai vari dispositivi dei numerosi costruttori, o ad artifici di differente indole che vedremo in seguito. Si ricordi però che è sempre preferibile *un motore di potenza esuberante*. Sono considerati ugualmente importanti nella pratica dei generatori *AT* per usi radio-elettrici la qualità e il sistema di commutazione, e più precisamente il problema delle scintille al collettore (che data l'alta tensione possono dare luogo a pericolosi archi alle spazzole) e

quello della commutazione in se stessa, affinchè la corrente *pulsante* prodotta si avvicini il più possibile alla corrente *continua* senza richiedere una ulteriore livellazione.

Il primo problema, quando la tensione è molto elevata, si presenta pieno di difficoltà, e si può praticamente dire che, almeno per macchine di potenza relativamente debole, non è ancora risolto. Se consideriamo i due poli di un generatore (fig. 359) e misuriamo l' intensità del flusso magnetico percorrendo l'arco *ACDB* troviamo che da un valore nullo in *A* esso raggiunge rapidamente il suo massimo in *C* che mantiene pressochè invariato fino in *D* per annullarsi poi rapidamente in *B*. Quando fra i due poli gira un' armatura la tensione indotta in questa segue l' andamento dell' intensità del flusso e il suo valore varia con questo. Essa è quindi nulla in *A*, massima da *C* a *D* e di nuovo nulla in *B*. È quindi sulla linea *AB*, dove la tensione è pressochè nulla, che si esegue la commutazione. Praticamente però l'armatura reagisce a sua volta sull'induttore e sposta la linea di commutazione di un angolo variabile a seconda del carico. Ora abbiamo visto come la tensione cresca rapidamente fra *A* e *C* e come quindi una differenza angolare anche piccolissima, portando la commutazione ad aver luogo a tensione elevata, determini lo scintillamento alle spazzole. Se il carico è costante, questo può essere ridotto facendo prendere alle spazzole l' angolo desiderato, ma se questo è variabile l' angolo di commutazione divenendo pure variabile, lo scintillio ricomincia. Si sono pensati vari dispositivi per rimediare questo diffetto: ultimamente una casa costruttrice ha pensato di aggiungere sulla linea di commutazione due piccoli poli ausiliari percorsi dalla corrente generata che servono a neutralizzare la reazione dell' armatura. Così quando un aumento di carico sposterebbe la linea di commutazione l' aumentata corrente di compensazione attraverso ai poli ausiliari la riporta nella posizione primitiva, e quindi la mantiene costante.

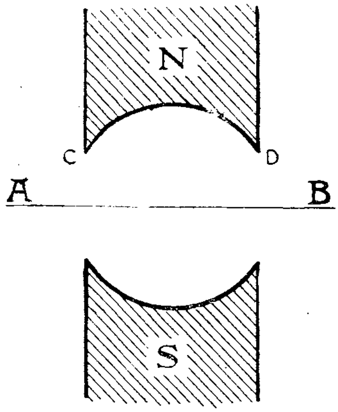


Fig. 359.

L' altro importante problema della ondulazione della corrente pulsante per evitare la cosidetta « frequenza del collettore » è stato pure molto considerato dai costruttori e lo è tuttora. Si pensò da prima di aumentare di molto la frequenza della commutazione per renderla ultra udibile. Ma ciò richiedeva una eccessiva velocità della macchina e un numero

grandissimo di segmenti al collettore, e ben difficilmente era realizzabile nella pratica. Si sono tuttavia costruiti generatori fino a 6-7 mila giri al minuto con più di cento segmenti al collettore che sono stati anche largamente usati con buoni risultati (figura 360). Oggi però si preferisce filtrare o livellare la corrente pulsante, cercando tuttavia di darle una forma suscettibile a rendere semplice ed economica questa operazione. Si è pensato di rendere più uniforme la distribuzione del flusso costruendo i due poli anzichè in un blocco unico a mezzo di tante piccole espansioni polari affacciate ed avvolte in modo che il flusso anzichè uniforme in tutta la superficie polare vada gradualmente variando così da raggiungere un massimo in *M* in modo che la tensione indotta non passi bruscamente da *O* al massimo fra *A* e *C* come prima abbiamo esaminato (fig. 361). Questo sistema sembra presentare molti vantaggi sugli altri.

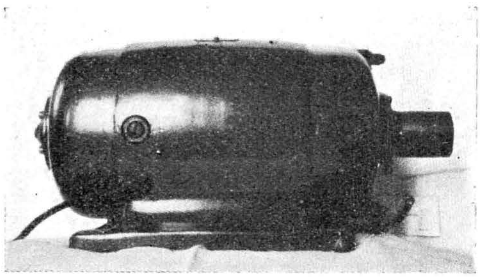


Fig. 360.

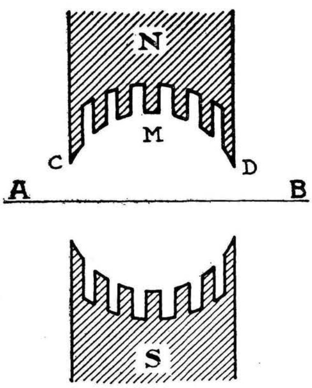


Fig. 361.

Concludendo questa breve rassegna sui convertitori ad *AT* possiamo rammentare al lettore interessato i principali requisiti da considerare nella scelta:

a) Motore ampio e veloce;

b) Generatrice eccitata a parte o compound;

c) Molti segmenti al collettore;

d) Angolo delle spazzole variabile;

e) Lubrificazione razionale.

Quest' ultimo requisito della lubrificazione è molto importante e merita di essere considerato. Nella pratica dei piccoli gruppi generatori tre sono i sistemi adottati: lubrificazione a stoppino, ad anelli e periodica (cuscinetti a sfere).

Il primo è usato quando la potenza è molto piccola ($<$ di un decimo di *HP*), il secondo fino alle potenze più elevate, il terzo quando la posizione del motore non è sempre la stessa o per usi speciali.

La lubrificazione a stoppino (vedi fig. 362) si effettua a mezzo di uno stoppino costantemente tenuto spinto verso l' albero motore a mezzo

di una molla. Questo stoppino è immerso in un recipiente pieno d'olio che si avvita al di sotto del cuscinetto ed è guidato da un foro apposito.

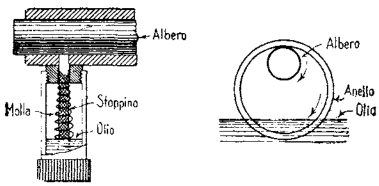


Fig. 362.

Lo stoppino deve essere cambiato periodicamente e tenuto ben pulito e il serbatoio ben pieno. L'olio da usare deve essere sufficientemente fluido per essere assorbito, ma non troppo. L'olio di vaselina è quasi sempre fra i migliori. La lubrificazione va migliorando man mano che il motore si riscalda, quindi non occorre eccedere al principio. Il motore lubrificato in questo modo deve avere sempre l'albero pressochè orizzontale con i serbatoi d'olio al di sotto.

La lubrificazione ad anelli usata per potenze maggiori è sempre da preferire a quella descritta quando si eccede il decimo di *HP*. Il sistema è molto semplice: in apposita scatola semplicemente appoggiato sull'albero sta un anello che è immerso colla parte opposta in una vaschetta d'olio. Il motore, girando, per leggero attrito contro l'anello, lo mette in rapido movimento circolare, così che l'olio viene continuamente portato dalla vaschetta inferiore all'albero determinando la lubrificazione (vedi fig. 362).

L'unica cura necessaria è di mantenere le vaschette sufficientemente piene d'olio, affinchè l'anello vi possa pescare.

L'olio deve essere più denso che nell'altro caso, perchè possa maggiormente aderire all'anello, e quindi raggiungere l'albero in maggiore quantità. Anche in questo caso la posizione favorevole è la perfetta orizzontale.

Quando infine si usano cuscinetti a sfere la lubrificazione è ridotta ad una periodica ingrassatura di questi. Il motore può funzionare in qualunque posizione fino alle più alte velocità. D'altra parte però il funzionamento è più rumoroso, quindi questo sistema non è usato che in casi speciali. È bene evitare che qualsiasi particella estranea venga a trovarsi nel cuscinetto e che il grasso sia di buona qualità non troppo denso pel funzionamento orizzontale, ma abbastanza per quello verticale.

Queste osservazioni sulla lubrificazione, che possono sembrare superflue, hanno semplicemente lo scopo di ricordarne a chi ne ha interesse, la grande importanza, poichè il maggior numero di macchine del genere messe fuori uso è appunto dovuto ad imperfetta lubrificazione.

Costruzione di generatori AT. — Tutte le particolari esigenze necessarie al buon funzionamento di una dinamo ad alta tensione, dimostrano chiaramente le difficoltà della sua realizzazione pratica.

Non è quindi possibile nè consigliabile intraprendere con mezzi imperfetti e senza la necessaria esperienza la costruzione di una dinamo ad alta tensione.

Tuttavia se la tensione non supera i 600-800 volts, se la potenza è piccola o se non si fa conto del rendimento ridotto, è possibile se non addirittura costruire il generatore realizzarne una parte ben importante, e cioè avvolgerlo. Per realizzare un generatore *AT* senza nessun calcolo e con molta facilità, si usa un piccolo motore a corrente continua con molti segmenti al collettore. Questo si accoppia con giunto elastico, su apposita base ad un motore adatto azionato dalla corrente da convertire. Il motorino funzionando allora da generatore darà una tensione tanto maggiore quanto più alta sarà la sua velocità.

Supponiamo ora di misurare una tensione di 150 volts. Se la tensione desiderata deve essere 450 occorre triplicare il numero delle spire nell' indotto.

All' uopo si tolgono con ogni cura le spire già bobinate contandole e prendendo nota della loro posizione sull' indotto. Si misura la sezione del filo e se ne adotta una tre volte più piccola o ancor più ridotta, poichè difficilmente si potrebbe eseguire l' avvolgimento colla perfezione del costruttore. Nei fori dell' indotto si passeranno dei pezzetti di tubo isolante verniciato di gomma lacca all' esterno in modo che possa fissarsi bene. Questo tubo si lascierà sporgere per 5-6 millimetri da ogni estremità e verrà tagliato lungitudinalmente lungo la scanalatura dell' indotto per lasciare passare il filo dell' avvolgimento. Questa operazione è importante, perchè da essa dipende l' isolamento dell' indotto e quindi la vita della macchina stessa.

L' avvolgimento richiede molta cura e maggiore attenzione, poichè è molto facile sbagliare. Non è fuor di luogo ripetere che prima di sbobinare il motore occorre considerare lungamente il tipo di avvolgimento, numerando anche i segmenti del collettore e quelli dell' indotto, e facendo un disegno illustrativo dei collegamenti per poterli ripetere poi (fig. 363).

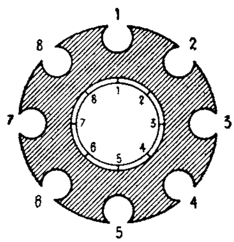


Fig. 363.

Dopo ogni bobina vengono distese due mani di gomma lacca sull' avvolgimento e così pure ad operazione ultimata. Si lascia quindi l' indotto in un locale possibilmente caldo per qualche giorno, finchè la vernice non è ben secca. Montato l' indotto si procede alla prova di funzionamento utilizzando il vecchio avvolgimento dell' induttore per l' eccitazione (separata) magari a mezzo di una batteria di pile. Se i

collegamenti sono buoni, il generatore deve immediatamente funzionare. Per l'eccitazione la cosa migliore sarebbe di avvolgere sull'induttore poche spire di grosso filo e fare l'eccitazione separata con un accumulatore. Altrimenti se si desidera l'autoeccitazione l'operazione diventa tanto più delicata quanto più è elevata la tensione; le spire saranno allora il triplo di quelle primitive e naturalmente di sezione un terzo. L'avvolgimento si fa su un tornio coll'aiuto di un contagiri e la bobina finita si avvolge di cordella di cotone e si immerge in paraffina liquida per qualche tempo, quindi finchè essa non è ancora ben secca, si adatta fra le espansioni polari dove, seccandosi, rimane perfettamente stabile.

Durante le prove delle macchine è raccomandabile avere molte precauzioni, poichè l'*AT* continua è meno pericolosa, ma più dolorosa della alternata, e produce piaghe e ferite guaribili molto lentamente.

L'artificio di installare prima di riavvolgerlo il motore assieme a quello destinato a muoverlo, è indispensabile per conoscere la tensione erogata che date le condizioni di rendimento e di velocità può essere anche molto differente da quella segnata.

Precauzioni generali nell' uso della AT continua. — La corrente di placca generata da pile accumulatori e dinamo produce una emissione molto pura ma anche sensibile alle più piccole variazioni. Quando l'onda è molto corta questa sensibilità è spesso dannosa alla regolare ricezione. Usando una di queste sorgenti occorre seguire con molto scrupolo tutte le precauzioni che abbiamo esposto e che via via esporremo affinchè la frequenza all'emissione rimanga molto costante.

L'altro problema molto importante che si presenta nella alimentazione sopra detta è quello del sistema di manipolazione, nel caso di emissione telegrafica.

Infatti a tensione elevata e con notevole potenza è difficile e pericoloso interrompere la corrente di placca per produrre i segnali necessari. Si sono escogitati molti mezzi sia per ovviare a questi inconvenienti sia per eliminare il disturbo ai ricevitori vicini che viene generalmente avvertito quando si usa questo genere di alimentazione.

Un mezzo che potrebbe sembrare ideale è la manipolazione nel circuito di griglia che con una corrente minima attraverso il tasto permette di controllare potenze molto grandi. La figura 364 *A* indica il più semplice sistema di collegamento di questo tipo: si interrompe all'uopo la resistenza di griglia in modo che la carica negativa di questa raggiunga un valore sufficiente all'arresto delle oscillazioni; la semplicità di questo

sistema è però, salvo speciali precauzioni, a scapito della purezza della nota e dell' efficienza.

La fig. 364 *B* indica un collegamento che rappresenta una miglioria notevole sul primo: qui il tasto mette in corto circuito un condensatore di elevata capacità in serie sul circuito griglia. Poichè questo richiede un tempo apprezzabile sì alla carica che alla scarica la manipolazione rimane « raddolcita » con vantaggio sulla purezza e sull' interferenza.

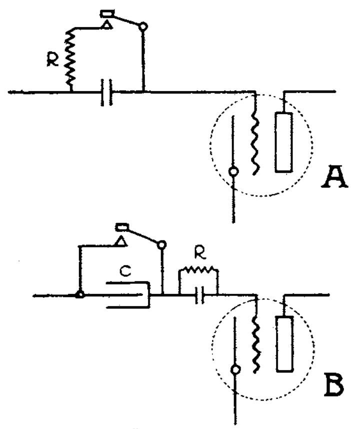


Fig. 364.

Ambedue questi tipi di manipolazione sono sconsigliabili nel caso di onde corte o quando ci si trovi nelle vicinanze di apparecchi ricevitori, mentre è sempre raccomandabile in qualsiasi caso di inserire il tasto direttamente sul circuito *AT*. Prescindendo da ogni altra caratteristica, consideriamo da prima la qualità del disturbo o interferenza provocato dalla manipolazione sui ricevitori vicini.

Tutte le volte che si abbassa il tasto l' antenna viene eccitata e la tensione della sua corrente raggiunge in brevissimo tempo il valore massimo. Ora si è trovato sperimentalmente che se questo massimo è raggiunto in meno di $^1/_{25}$ di secondo circa l' antenna risente *del primo impulso*, che propaga indipendentemente dall' oscillazione principale. Ora è noto che un rapido impulso ha la proprietà di mettere in oscillazione in modo estremamente facile qualunque circuito adatto. Esso sarà quindi facilmente captato dalle antenne vicine, anche se sintonizzate molto differentemente, e determinerà un colpo secco nei rispettivi ricevitori. Spesso lo stesso impulso si ripete all' apertura del circuito; quindi è facilmente immaginabile l' interferenza che può causare una manipolazione veloce.

Nell' intento di eliminare questo difetto mi riferirò per ora ai casi di alimentazione con corrente continua già esaminati, riservandomi alla fine del capitolo seguente di esaminare gli altri più eventuali della pratica.

L' artificio più generalmente usato, non considerando il caso di manipolazione in griglia, è quello di inserire dopo il tasto un « ritardatore » dello impulso da questo determinato. Self, condensatori, convertitori elettrolitici o elettronici, accoppiamenti elettromagnetici ecc. sono tutti atti allo scopo.

Ci converrà prima di tutto tenere molto lasco l' accoppiamento coll' antenna, e quindi se il disturbo fosse ancora nocivo, inserire un' adatta self nel circuito *AT*.

Occorre badare però di non eccedere in questo « rallentamento » per evitare di diminuire o addirittura eliminare la purezza della manipolazione (vedi cap. 4°). Se non si vuole ricorrere a relays speciali si può collocare il tasto sul lato della *AT* in contatto col filamento e quindi col suolo. Però a tasto alzato questo sistema (vedi fig. 365) è pericoloso e quindi non consigliabile, a meno di non disporre di un tasto speciale.

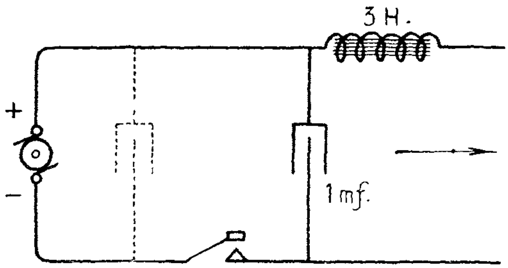


Fig. 365.

Dopo il tasto si può al caso inserire una self con nucleo di ferro di 2-5 henry e un condensatore fisso di 1 microfarad che deve poter resistere alla tensione di placca.

È sempre preferibile però ricorrere ad un relay che eseguisca le interruzioni necessarie. Questo deve essere ben isolato fra le parti alte e bassa tensione ed è anzi utile provare questo isolamento con una tensione doppia o tripla della normale.

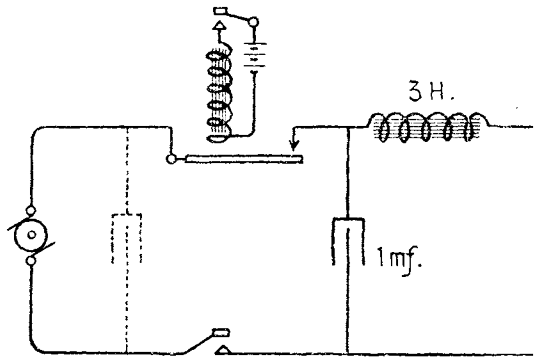


Fig. 366.

Si inserisce il relay direttamente sul positivo dell'*AT* in modo da mantenere il contatto col suolo del generatore o della batteria (fig. 366), e ciò sempre dal punto di vista della sicurezza personale.

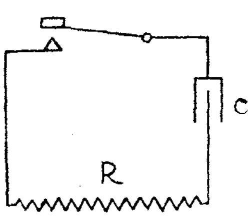


Fig. 367.

Spesso si possono produrre forti scintille ai contatti del tasto o del relay che possono anche mutarsi in veri archi.

In questo caso si mette in serie coi contatti stessi un condensatore ed una resistenza adatti (fig. 367).

Questi funzionano molto semplicemente da stabilizzatori: infatti alla apertura e alla chiusura il condensatore caricandosi o scaricandosi lentamente attraverso la resistenza prolunga la brusca interruzione del tasto.

Praticamente una resistenza di 150-100 ohms ed un condensatore di 1 microfarad sembrano molto convenienti ([1]).

In tutti questi casi non abbiamo considerato la purezza e la costanza dell' emissione, l' importanza della quale ben sappiamo. La manipolazione sul circuito di placca può, se ben fatta, non lasciare nulla a desiderare anche per le onde più corte; ma questa condizione di ottimo funzionamento non è molto facile a realizzare. Non restano quindi che due metodi: manipolazione con variazione di potenza e manipolazione con variazione d'onda. Generalmente però in uno di questi è sempre presente l' altro.

Il primo sistema si realizza facilmente inserendo una resistenza nel circuito di placca sufficiente a permettere l' innesco delle oscillazioni con *la minima potenza possibile*; il tasto mette in corto circuito questa resistenza, quindi determina il passaggio di tutta l' energia. In secondo luogo la variazione di tensione sulla placca produce una variazione d' onda sufficiente ad eliminare al ricevitore la già debole emissione continua. Questo sistema, quando la potenza non è molto grande, dà risultati ottimi sotto tutti i rapporti di costanza, purezza e interferenza.

Il sistema a variazione d' onda è meno usato quando la potenza è piccola, specialmente perchè non è molto semplice che la variazione sia

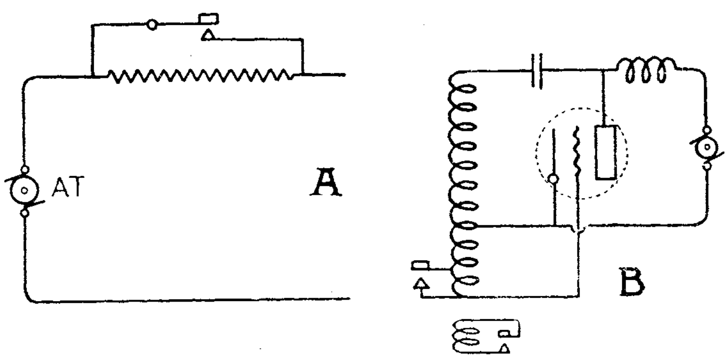


Fig. 368.

assolutamente identica in qualunque periodo di tempo. Per raggiungere lo scopo basta infatti mettere in corto circuito o qualche spira o frazione di spira all' induttanza del circuito oscillante o d'aereo, ma la difficoltà sta nel far sì che questa aggiunta o sottrazione si effettui sempre nelle medesime condizioni, cosa abbastanza difficile quando l' onda è molto corta. La fig. 368 *A* e *B* mostra la realizzazione pratica di questi due ultimi metodi.

([1]) Nell' adattamento della resistenza tenere presente che se la scintilla al tasto è esile e rumorosa essa è insufficiente, se invece è nutrita e tendente all' arco essa è troppo elevata.

Sistemazione dei generatori ad AT. — Un gruppo generatore si trova nelle migliori condizioni quando è montato su un blocco di cemento posato direttamente sul suolo. In questo caso se il piano di posa è perfettamente orizzontale anche i più grossi motori possono funzionanare senza la più piccola vibrazione. Questo fatto è molto importante per l' esperimentatore desideroso di lavorare nelle ore notturne e d' altra parte contribuisce non poco alla regolarità di funzionamento. Quando tuttavia è impossibile una tale sistemazione si possono costruire basamenti speciali allo scopo di impedire la propagazione delle vibrazioni e quindi la sonorità dell' impianto. Per piccoli gruppi montati su un unico basamento in ghisa (peso inferiore ai 50 kg.) si può ottenere un funzionamento silenzioso appoggiandoli su uno strato di feltro di qualche centimetro. Risultati pure buoni si ottengono sospendendoli ai quattro angoli a mezzo di molle fisssate a sostegni adatti. La fig. 369 mostra l' installazione di un gruppo relativamente potente mediante semplice appoggio sul pavimento. Allo scopo il motore ed i generatori sono fissati a due ferri angolari ben visibili in figura così da formare un insieme pesante e compatto. Il tutto è quindi appoggiato su uno strato di crina vegetale compressa e contenuta in una apposita cassetta.

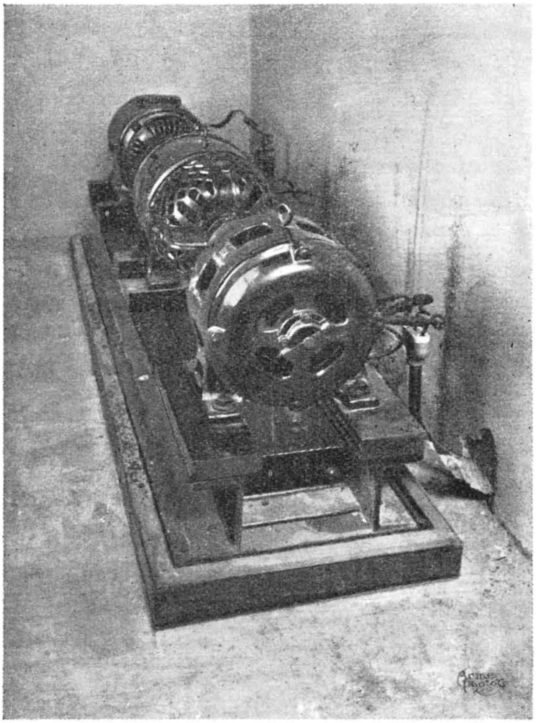


Fig. 369.

Con questi artifici è possibile sistemare anche nei piani più elevati degli edifici gruppi generatori ed operarli in qualsiasi momento senza arrecare disturbo ad alcuno, evitando così le notevoli preoccupazioni che si presentano spesso in simili casi.

CAPITOLO IV.

ALIMENTAZIONE CON CORRENTE ALTERNATA

Generatori e frequenze. — Il largo uso della alimentazione placca con corrente alternata è dovuto alla facilità con la quale se ne può disporre. Non è quindi molto frequente il caso di una vera e propria generazione in luogo.

Le frequenze industriali (30-60 periodi) sono tuttavia troppo basse per produrre una nota musicale dell'emissione e ciò si presenta come grave difetto, specialmente quando la ricezione è disturbata da interferenze. D'altra parte un vantaggio innegabile ne deriva poichè la nota risulta molto più stabile e meno sensibile alle piccole variazioni così preoccupanti nel caso di alimentazione con corrente continua.

Ma la maggiore stabilità, dovuta soltanto ad una minore acutezza di sintonia, aumenta in modo notevolissimo la probabilità di interferenza con altre emissioni e quindi reca un inevitabile danno alla comunità.

Alimentando direttamente il triodo con corrente alternata (caso più semplice) la nota risultante all'emissione ha la stessa frequenza di questa poichè la lampada utilizza un solo semi-periodo.

Sfruttando ambedue i semi-periodi la frequenza risultante diviene doppia e ciò è un buon passo verso il miglioramento della nota.

Successivi miglioramenti si possano ottenere usando correnti polifasi con un triodo per ogni fase. Ciò oltre a permettere l' uso di un numero multiplo di triodi anche per altissime frequenze dà alla nota una eccezionale stabilità e un tono molto gradevole.

Anche aumentando la frequenza della C. A. si possono ottenere emissioni più pure: non è a credersi però che più grande l'aumento migliore il risultato.

Praticamente è stato trovato che una frequenza di 500 periodi è troppo elevata a meno di non usare dei ricevitori non oscillanti, poichè la nota soffiata che questi ci forniscono, è quasi sempre più confondibile di quella prodotta da una C. A. a bassa frequenza; d'altra

parte usando ambedue i semi-periodi la nota (1000) risultante è troppo elevata (¹).

Nel caso quindi di un impianto generatore separato di corrente alternata è consigliabile una frequenza di 300 e 150 periodi, a seconda che si usi uno solo o ambedue i semi-periodi.

Nel secondo caso si realizzano a mio parere le migliori condizioni di funzionamento sia nei riguardi della stabilità che dell'altezza della nota (sempre naturalmente per l'emissione telegrafica). Infatti la modulazione a 250-300 periodi di questa è quanto di migliore si possa desiderare in una trasmissione ad onde corte ed è quasi sempre preferibile alla emissione assolutamente pura che ben raramente può mantenersi costante.

Queste condizioni ideali non si realizzano tuttavia facilmente poichè data la presenza di un piccolo generatore, si debbono di nuovo superare le difficoltà esaminate nel caso delle dinamo ad *AT* e specialmente la incostanza della velocità e della frequenza generata. Fatti questi che non si osservano nell'alimentazione diretta con corrente del settore stradale per la grande potenza a disposizione.

Riassumendo se si desidera l'alimentazione diretta con corrente alternata nella produzione di onde corte è consigliabile l'uso di quella industriale (trasformata e rettificata). In tutti gli altri casi dove cioè si richieda un generatore locale) è preferibile la corrente continua ad alta tensione a meno che gli *audions* disponibili non richiedano una tensione tanto elevata da dover ricorrere alla trasformazione.

L'alternatore locale non è quindi quasi mai da preferire.

L'utilizzazione di un solo semi-periodo è poco raccomandabile sebbene la facilità e l'economia dell'impianto ne abbiano fatto la principale caratteristica delle emissioni private. Ambedue i semi-periodi migliorano in modo grandissimo la qualità della trasmissione ma richiedono un numero doppio di valvole oscillatrici, e una cura speciale nel montaggio affinchè il rendimento sia buono.

Nel decidersi al riguardo occorre considerare la convenienza o no di un raddrizzatore separato. I circuiti con alimentazione diretta con C. A. sono molto semplici. La corrente viene inviata direttamente alla placca nel primo caso *dopo adatta trasformazione*, mentre nel secondo, occorre un trasformatore a due secondari identici con presa al centro (equipotenziale), e il circuito di placca si sdoppia su due triodi che funzionano in opposizione. Il montaggio preferito è in questo caso in parallelo e

(¹) Ciò naturalmente quando si desidera sfruttare l'effetto stabilizzatore della modulazione; poichè quando si cerca di rendere la nota assolutamente pura mediante filtrazione una frequenza molto elevata della C. A. si dimostra spesso utile.

può essere usato in qualsiasi dei circuiti oscillatori della pratica. Le fig. 370, mostrano i collegamenti necessari in alcuni dei più comuni. Come precauzione generale è bene badare che i collegamenti abbiano la stessa lunghezza nei due rami affinchè le fasi necessarie siano conservate.

La potenza generata in questo modo, è nelle migliori condizioni equivalente alla somma di quella generata dai singoli triodi; praticamente è

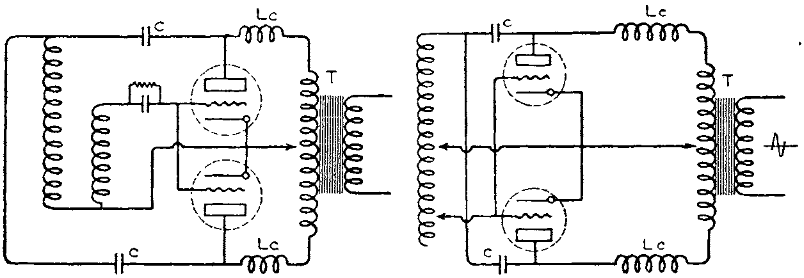


Fig. 370.

però leggermente inferiore e tanto meno quanto meno simmetrici sono i montaggi dei due oscillatori ([1]).

Usando l'alimentazione a C. A. la sola cosa necessaria ed indispensabile è un adatto trasformatore elevatore della tensione alternata. La bontà di questo e le sue caratteristiche elettriche sono molto importanti sulla qualità dell'emissione specialmente riguardo alla chiarezza della manipolazione.

Trasformazione e trasformatori. — Per piccoli impianti un tipo di trasformatore ideale sotto ogni rapporto è quello usato nelle centrali elettriche per eseguire la lettura sull'alta tensione a mezzo di un istrumento a *BT*. Essi possono erogare (quando si esegue la manipolazione sul primario) anche potenze notevoli senza riscaldarsi troppo, e la loro costruzione è delle migliori desiderabili. Per piccolissimi trasmettitori si possono usare i soliti trasformatori « da campanelli » in senso inverso alimentando i primari con un terzo trasformatore. Così con due trasformatori da 6 a 220 volts è possibile ottenere 440 volts ali-

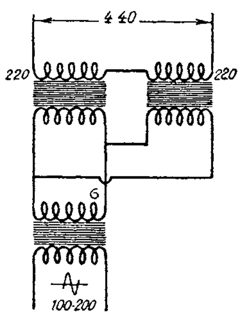


Fig. 371.

([1]) Se questi hanno caratteristiche pressocchè uguali e sono ben collegati, il sistema realizzato è uno dei pochi che permette di usare fino alle più alte frequenze, un numero multiplo di triodi senza che il rendimento venga praticamente diminuito, se si eccettua il metodo analogo dovuto al Mesny nel quale i due triodi lavorano sempre in opposizione ma alla frequenza d'oscillazione anzichè a quella di alimentazione placca.

mentando i due primari in parallelo a $6V$ e collegando i due secondari in serie (fig. 371). La potenza ottenuta in questo modo può essere molto maggiore di quella normale essendo il funzionamento intermittente.

Nei riguardi della tensione essa non deve raggiungere grandi valori per l'insufficiente isolamento fra primario e secondario, tanto più nocivo in questo caso dove il funzionamento intermittente cagiona brusche variazioni di tensione ed aumenti di questa molto oltre il normale.

La costruzione di trasformatori speciali è molto semplice e sebbene per ovvie ragioni non possa raggiungere la perfezione del costruttore esperimentato, tuttavia se eseguita con cura riesce soddisfacente.

Il difetto principale di un trasformatore costruito per la prima volta, senza conoscere quindi gli artifici e le formule empiriche dettate dalla pratica, è generalmente un forte scintillamento all'apertura del primario.

Ciò è nocivo quando si esegue la manipolazione in questo circuito sia per il consumo dei contatti del tasto, sia e specialmente perchè la scintilla d'apertura prolunga di qualche istante la durata del punto o della linea e questo prolungamento è notato al ricevitore con una nota caratteristica ben differente da quella del segnale stesso che viene quindi formato da due note successive e diverse a scapito della sua chiarezza e leggibilità.

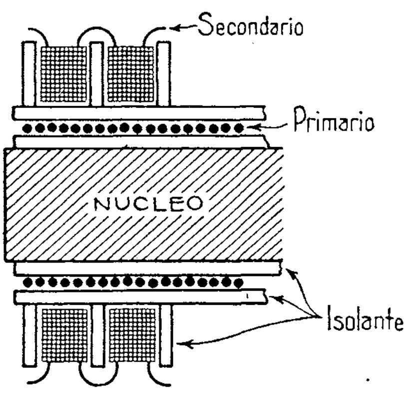


Fig. 372.

A distanza questo effetto diviene meno sensibile sebbene lo si noti spesso a qualche migliaio di chilometri.

La costruzione richiede anzitutto un isolamento perfetto fra primario e secondario e fra le varie sezioni di quest'ultimo.

La fig. 372 mostra il più comune sistema di costruzione. Il primario è separato dal nucleo e dal secondario a mezzo di un grosso tubo isolante. Il secondario è costituito di varie bobine che si collegano in serie dopo essere state separate con dischi isolanti.

Desiderando tensioni intermedie si collegano i punti d'unione fra le varie bobine ad una serie di serrafili mantenendo un numero pari di avvolgimenti così che sia sempre possibile disporre di una presa equipotenziale al centro del secondario.

Iniziando la costruzione ci si provvede di un buon nucleo di ferro, adatto per un trasformatore di potenza analoga a quella desiderata.

(Le vecchie carcasse di antichi trasformatori da lampade ad arco possono essere benissimo utilizzate). Affinchè l'isolamento riesca migliore è bene fare l'avvolgimento su una sola branca del nucleo il quale deve essere quindi in due pezzi.

Per scegliere la sezione del ferro, quando si conosca la potenza massima da erogare, può servire la tabella che ci fornisce valori trovati esperimentalmente ed utili per un funzionamento intermittente.

Potenza W	Sezione cm²
50	7
100	10
200	15
300	18
500	25
600	27
800	32
1000	36

Fissata la sezione occorre determinare la f. e. m. indotta in ogni spira avvolta sul ferro [1].

Una volta trovata questa f. e. m. possiamo dedurre immediatamente il numero delle spire primarie e secondarie. Generalmente quelle primarie non stanno alle secondarie come il rapporto di trasformazione perchè vi sono le perdite (riscaldamento, dispersione, nel rame e nel ferro). Se praticamente converrà qualche correzione alla tensione secondaria questa sarà facilmente realizzabile aumentando il numero di spire del secondario o diminuendolo. Se il primario invece scintillasse troppo all'apertura occorre aumentare il numero delle spire sue e del secondario. In altri termini dato l'uso speciale richiesto, il migliore funzionamento si troverà esperimentalmente piuttosto che col calcolo elementare che qui potremmo esporre. Tuttavia il sistema precedente dà un'ottima approssimazione. Esempi:

Trasformatore di 100 W. 110-1500 volts, 42 P. Un nucleo di cm. 3×4 o di sezione analoga è necessario. La f. e. m. indotta in una spira è $= (2{,}75 \times 42 \times 10) : 1000 = 0{,}11$ dove 10 è approssimativamente uguale alla sezione del ferro diminuita di 2 decimi. Il secondario in 4 sezioni di 400 volts l'una dà in totale 14500 spire circa cioè 3600 per ogni bobina. Il primario ne ha invece soltanto mille. Nel montaggio si avvolgono sul nucleo di ferro vari strati di spessa carta paraffinata o meglio si infila su questi un tubo di ebanite o bakelite che porta il primario avvolto il più regolarmente possibile. Su questo avvolgimento

[1] Senza ricorrere ad un vero e proprio calcolo generale, che del resto poco ci servirebbe in questi piccoli trasformatori di rendimento relativamente basso, a trovare ciò serve la formula empirica approssimata per frequenze di 40 — 50 periodi: $e = \frac{2{,}75 \times p \times s}{10000}$ dove p è equivalente al numero dei periodi della c. a. e s alla sezione del ferro della tabella diminuita di due decimi per tener conto dell'isolamento fra lamina e lamina.

si infila un secondo tubo isolante e quindi le 4 bobine secondarie separate da una rondella dielettrica di diametro leggermente maggiore. Per costruire queste bobine si usa una forma provvista di apposita gola nella quale si collocano le spire necessarie. Quindi si toglie l'avvolgimento, lo si lega provvisoriamente e lo si mette per qualche tempo in un bagno di gomma lacca, facendolo poi asciugare in luogo caldo per vari giorni. Le bobine così finite si ricoprono con cordella di cotone e si spalmano ancora con vernice isolante. Infine badando bene che il senso dell'avvolgimento sia eguale per tutte, esse si infilano assieme ai separatori sul tubo apposito.

Trasformatore da $^1/_2$ kw. 2000 volts. In questo caso il ferro ha una sezione di circa 30 cm.^{2} o poco meno ed essendo la f. e. m. indotta in ogni spira uguale a 0,27 volts il secondario ha 6 sezioni di 1260 spire ciascuna e il primario 400 circa. La costruzione, salvo le dimensioni, è identica alle precedenti.

Diametro mm.	Resistenza 1000 metri
0 1	2180
0 2	540
0 3	240
0 4	136
0 5	87
0 6	60
0 7	44
0 8	34
0.9	27
1.0	21
1 2	15
1.4	11
1·6	8
1.8	6
2.0	5
2.2	4.5
2.4	3.8
2.6	3.2
2.8	2.8
3.0	2 4
3.2	2.1
3.4	1.8
3.6	1 6
3.8	1.5
4 0	1.3

Trasformatore da 1 kw. 4000 volts. Sezione del ferro 40 cm.^{2} — f. e. m. indotta 0,37 volts — primario spire 300 circa — secondario 8 sezioni di 1400 spire ciascuna.

Riguardo alla sezione del filo serve la tabella qui di contro. Per l'uso di questa occorre calcolare la resistenza del primario e secondario usando la legge di Ohm e i valori delle tensioni e intensità. Si calcola allora la lunghezza media di ogni spira, quindi la lunghezza totale degli avvolgimenti. Si trova sulla tabella il diametro di filo che presenta (per la lunghezza stabilita) una resistenza vicina a quella calcolata.

È ottima cosa derivare dal primario delle prese intermedie rispettivamente al 70, 80, 90 per cento delle spire per potere volta per volta portarsi nelle migliori condizioni sia nei riguardi della scintilla di rottura al tasto che della tensione al secondario.

Rettificazione e raddrizzatori. — Il *raddrizzatore* (elettrolitico, elettronico, meccanico ecc.) non è altro che un conduttore unilaterale o meglio un conduttore asimetrico la resistenza del

quale è differente a seconda che il potenziale applicato è negativo o positivo. Il rettificatore ideale dovrebbe essere perfettamente conduttore in un senso e perfettamente isolante nell'altro. Praticamente invece, sebbene la prima condizione possa considerarsi pressochè vera, non è così della seconda: poichè quasi tutti i raddrizzatori si lasciano più o meno attraversare in senso opposto al normale, in modo tanto più notevole quanto più il potenziale è elevato. Ora, essendo nostro scopo di vedere il comportamento dei vari tipi per le elevate tensioni di placca, questa conduttività inversa deve pure essere considerata.

Il raddrizzatore elettrolitico. — Dicesi elettrolita un liquido che si lascia attraversare dall'elettricità. Questo è generalmente una soluzione di determinate sostanze in acqua, le quali al passaggio della corrente vengono dissociate. Più particolarmente la *molecola* di queste viene scomposta in due componenti di carica opposta e che si dicono rispettivamente radicale acido e radicale basico secondo che la loro carica è negativa o positiva.

Se applichiamo una corrente continua ad una soluzione, i due radicali vengono rispettivamente attirati dai poli di carica opposta, quindi quello acido raggiunge il positivo (anodo) e quello basico il negativo (catodo). Al momento del contatto con l'elettrodo essi cedono a questo la loro carica e danno luogo alla formazione di uno dei componenti della soluzione che può depositarsi sull'elettrodo o reagire con questo o con la soluzione stessa. Questi prodotti che si accumulano sull'elettrodo che possono essere solidi o gassosi, danno luogo ad una forza contro elettro motrice che si oppone al passaggio della corrente attraverso la soluzione. Questa si dice *f. e. m. di polarizzazione.*

Questo fenomeno potrebbe già utilizzarsi per costituire un conduttore unilaterale di corrente, cioè un raddrizzatore o detector, ma poichè la f. e. m. di polarizzazione si aggira generalmente sui 2 volts, occorrerebbe un numero grandissimo di elementi in serie per ottenere una pratica rettificazione di correnti ad AT, e si dovrebbe inoltre tenere conto di altri fenomeni che accompagnerebbero quella.

Una delle applicazioni più note di questo fenomeno si ha nel *detector elettrolitico* usato nei primi tempi della radiotelegrafia.

La reazione elettrochimica produce alle volte una sostanza semidielettica che depositandosi sull'elettrodo è sufficiente ad isolarlo completamente dall'elettrolita e quindi ad impedire il passaggio della corrente.

Invertendo quest'ultima, la sottile pellicola isolante si decompone rapidamente e il circuito è attraversato di nuovo.

Il convertitore elettrolitico, conosciuto da lungo tempo, fu creduto dovere le sue caratteristiche di valvola, appunto ad un comportamento di questo genere.

Ma si scoperse poi che la formazione della pellicola isolante richiedeva un certo tempo e che non era possibile un ritmo di formazione e distruzione di parecchie migliaia di volte al secondo come provava l'esperienza.

Tra le molte teorie avanzate per spiegare il fenomeno, la più accreditata e moderna appare quella « *elettronica* ».

Essa suppone che la pellicola isolante sia porosa e che ogni poro contenga una microscopica bollicina di gas. Così che l'insieme della pellicola e del gas isoli *permanentemente* l'elettrodo dall'elettrolita.

Ora noi sappiamo che l'elettrolita dispone per il trasporto della corrente di radicali, o ioni, lenti e pesanti. Il metallo invece, per le sue proprietà di conduttore, contiene elettroni liberi.

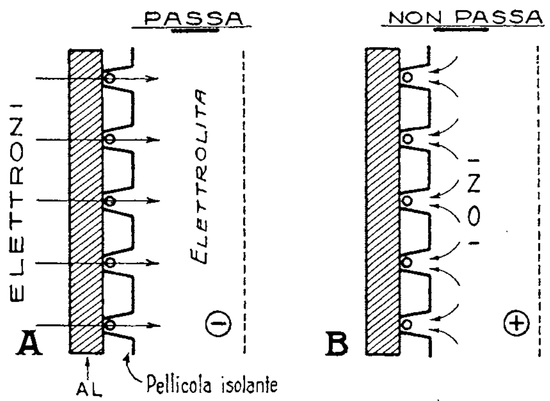


Fig. 373.

Quando la corrente applicata ha un determinato senso, gli elettroni dotati di grande velocità e di dimensioni molto piccole, riescono ad attraversare lo strato isolante e quindi la corrente passa, mentre ciò è impossibile ai lenti e pesanti ioni quando la corrente ha senso opposto (fig. 373 *A* e *B*).

Tuttavia quando il potenziale è abbastanza elevato la velocità aumentata di questi rende possibile l'attraversamento della pellicola gassosa, l'effetto rettificatore cessa e la corrente passa in ambedue i sensi. Ecco perchè per ogni tipo di raddrizzatore elettrolico esiste un *potenziale limite* che non si deve sorpassare.

La cosa è evidente anche in altri termini.

Se consideriamo la superficie dell'elettrodo (v. fig. 374) vediamo che in definitiva essa è isolata dall'elettrolita semplicemente a mezzo delle bollicine di gas. Ora queste bollicine hanno un diametro variabile tra il centomillesimo e il decimilionesimo di millimetro.

Se il potenziale è troppo elevato il gas si ionizza, è attraversato dalla scarica e l' isolamento fra elettrodo ed elettrolita viene eliminato.

Questo fenomeno è chiaramente visibile in qualsiasi rettificatore elettrolitico quando la tensione applicata è troppo alta: si vede allora l' elettrodo positivo ricoperto da piccolissime e numerose scintille.

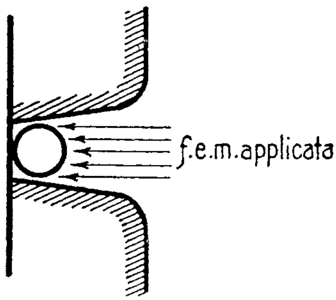


Fig. 374.

Entrando ora nel campo pratico delle considerazioni, troviamo che il principale ostacolo al buon funzionamento di un convertitore elettrolitico è il riscaldamento dell' elettrolita che danneggia la pellicola isolante.

Sebbene si siano trovate soluzioni ed elettrodi capaci di restare insensibili a variazioni anche elevate di temperatura, si è riconosciuto miglior cosa far sì che le dimensioni di questi siano sufficienti rispetto alla corrente che li attraversa, in modo da mantenere la temperatura di poco superiore a quella ambiente.

L' alluminio è generalmente l' elettrodo più usato, essendo economico e di facile formazione. Però la corrente nel circuito non deve eccedere i 5-6 milliamperes per centimetro quadrato.

Per evitare questa limitazione si è ricorso all' uso di metalli più rari come il *tantalio* e il *tungsteno* con soluzioni di acido solforico in acqua distillata.

L' intensità raggiungibile con questi è davvero notevolissima (rispettivamente 500 e 4000 milliamperes cm^2), ma la tensione critica è molto bassa aggirandosi sui 20 volts rispetto ai 120-150 dell' alluminio.

Il secondo elettrodo è perfettamente inattivo e il suo scopo è di eseguire il contatto con l' elettrolita. D' altra parte però non deve reagire col liquido stesso, nè dare luogo a prodotti secondari. La pratica ha adottato il carbone, il ferro e specialmente il piombo.

Pratica dei raddrizzatori elettrolitici. — Consideriamo da prima quelli ad alluminio e quindi questo metallo per primo. Con alluminio e soluzioni *assolutamente pure* si potrebbe costruire un raddrizzatore funzionante nelle migliori condizioni anche a 120-150 volts. Invece l' alluminio del commercio permette raramente di sorpassare i 40-50 volts in funzionamento continuo e regolare. Carbone, zinco, ferro e rame sono le principali impurità dell' alluminio commerciale e in modo del tutto

speciale per la qualità *fusa*. Il carbone e i metalli in genere sono nocivi poichè ben presto sono messi allo scoperto alla superfice e il funzionamento del raddrizzatore viene reso impossibile non solo, ma la vita degli elettrodi abbreviata di molto. Dopo qualche tempo di funzionamento queste necessità sono chiaramente visibili sia guardando la superficie dell'elettrodo tolto dal liquido sia guardando la fosforescenza del medesimo quando è in funzione, che non è uguale in tutti i punti. L'alluminio che lavora egregiamente deve invece presentare una superficie opaca e uniformemente bianca, di un bel bianco argentato. Durante il funzionamento essa non deve presentare la più piccola scintilla in nessun punto ma una leggerissima fosforescenza visibile all'oscuro e uniformemente distribuita su tutta la superficie. Se si notano invece piccoli sprazzi luminosi in alcuni punti occorre diminuire la tensione applicata per ogni elemento fino a portarsi nelle condizioni sopradette.

La tensione da adottare, è a mio parere ed esperienza, di 25-30 volts per elemento quando si desideri un funzionamento perfetto per lunghi periodi di tempo ne mai superiore ai 35 volts. Ciò ha anche lo scopo di rendere minime le perdite a vuoto, che in molti raddrizzatori funzionanti a tensioni più elevate possono spesso raggiungere e superare il valore dell'energia utilizzabile. Per provare la qualità dell'alluminio non vi è altro metodo che formare con questo un raddrizzatore analogo agli altri e collegarlo ad una sorgente continua a 100-150 volts in senso opposto al normale. In qualche minuto e spesso in qualche secondo, se l'alluminio è adatto, nessuna corrente deve più attraversare la soluzione; se invece dopo questo periodo, la corrente continua a passare, l'elettrodo è inadatto nè manterrebbe una formazione eseguita in tempo maggiore.

L'elettrolita può essere una soluzione satura in acqua di acido borico, di borato di sodio, borato ammonio, fosfato di sodio, *fosfato di ammonio* possibilmente neutro ([1]) o infine di bicarbonato di sodio (al 3 per cento). La presenza di sali d'ammonio è sempre di beneficio. L'acqua deve essere *distillata* ([2]). La durata della soluzione dipende dalla purezza degli elettrodi e dall'altezza del deposito lattiginoso che va man mano formandosi al fondo. Quando quest'ultimo ha raggiunto gli elettrodi è bene gettare la soluzione o almeno filtrarla dopo aver ripulito i vari recipienti. La sistemazione degli elementi è molto semplice. Basta ribadire insieme le lastrine di alluminio o di piombo e metterle a cavalcioni fra i vari

([1]) La soluzione di fosfato d'ammonio è senza dubbio la migliore.

([2]) Generalmente molti insuccessi sono appunto dovuti alla presenza di impurità nell'acqua stessa, particolare questo spesso dimenticato.

recipienti (v. fig. 375) badando che non si tocchino e che distino un paio di centimetri dal fondo. La superficie degli elettrodi si fissa in relazione alla corrente da fornire (5 ma. per cm.^{2}). Così un raddrizzatore capace di fornire 50 milliamperes avrà placche di alluminio e di piombo di 10 cm.^{2} La temperatura del liquido dopo un' ora di funzionamento continuo non deve presentare che un lievissimo aumento su quello ambiente e il consumo a vuoto, che ha luogo in molti circuiti raddrizzatori, deve essere inaprezzabile (qualche watts), prima che il rendimento dello insieme sia dei migliori.

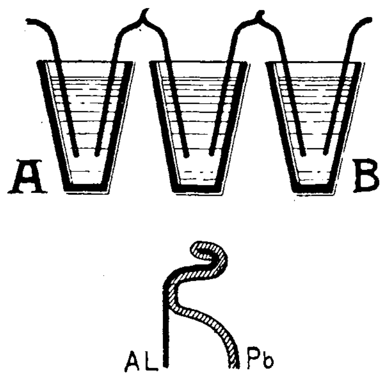


Fig. 375.

Gli altri tipi di raddrizzatori cui abbiamo da prima accennato, sono pure molto facilmente costruibili se si eccettua la difficoltà di trovare i metalli che li compongono. La tensione massima per elemento si mantiene dai 15 ai 20 volts usando per elettrolita una soluzione del 20 °/₀ di acido solforico. Se l'elettrodo è di tantalio si calcolano 500 milliamperes per centimetro quadrato di superficie quindi nel caso di una corrente di 50 milliamperes, basterebhe una superfice di 10 mm.^{2} facilmente realizzabile con un filo anche sottile. Se invece si dispone di tungsteno la superfice può essere molto minore (1.5 — 2 mm.^{2} nel nostro caso). Questi tipi di raddrizzatori si prestano quindi molto bene in casi speciali dove è necessario ridurre le dimensioni al minimo possibile.

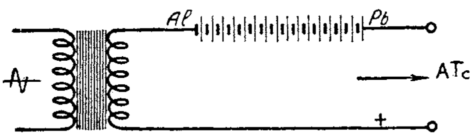


Fig. 376.

I circuiti dei raddrizzatori. — Ben poco vi è da dire riguardo a questi oltre agli schemi delle figure. Essi possono tuttavia classificarsi come utilizzanti uno solo o ambedue i semiperiodi. Il primo caso non è mai consigliabile per la filtrazione. Esso si realizza facilmente collocando i vari elementi in serie sulla corrente alternata ad *AT* (fig. 376). Si usa invece molto estesamente il secondo caso che richiede un numero doppio di elementi divisi in due batterie e un secondario *AT* pure doppio con presa al centro, per realizzare il circuito della fig. 377.

Infine vi sono alcuni sistemi che permettono col collegamento appro-

priato di raddrizzatori e capacità di aumentare la tensione continua ottenuta rispetto all' alternata impressa. Essi possono però essere usati soltanto quando la potenza da fornire è molto piccola.

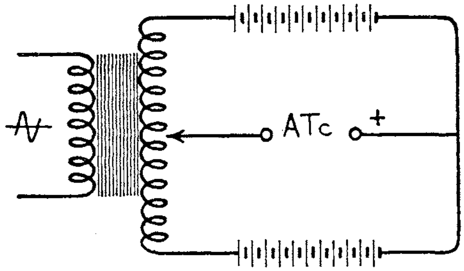


Fig. 377.

Così il circuito della figura 378 fornisce una tensione continua circa tripla della alternata a vuoto, doppia a carico ridotto, ed uguale a questa sotto forte carico. Esso è utile colle dimensioni dei condensatori segnata n figura per potenze non superiori a 10 watts e si presta molto bene quando si ha a disposizione corrente alternata (p. es. a 200 volts) e si desidera una tensione maggiore senza ricorrere a trasformatori.

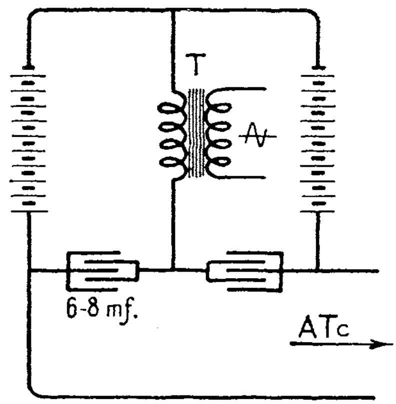


Fig. 378.

Chi desidera utilizzare corrente trifase può realizzare il circuito della fig. 379, che richiede un numero triplo di batterie rettificatrici e che dà una nota facilmente filtrabile per il rapido succedersi delle pulsazioni della corrente raddrizzata. Alla stessa guisa si potrebbe procedere con una corrente polifase.

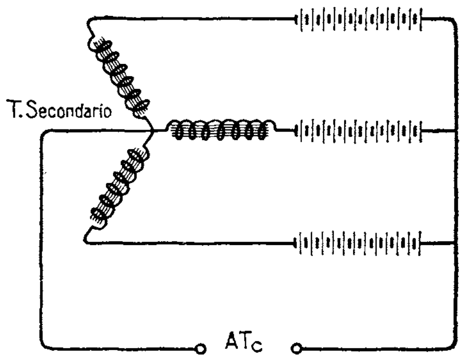


Fig. 379.

Così un sistema molto semplice e suscettibile di risultati notevoli è quello di usare una corrente esafase con due gruppi di raddrizzatori in opposizione (fig. 380).

In questo modo l' ondulazione della corrente che ogni gruppo fornisce è lievissimo, poichè essa non riesce mai ad annullarsi fra un periodo e l'altro. Ma il maggior vantaggio del sistema sta nel fatto che il collegamento in opposizione determinando

ondulazioni in perfetta opposizione di fase rende la pulsazione nulla e la corrente fornita appare perfettamente continua *senza l'aiuto del filtro.* All'uopo si uniscono gli estremi dei circuiti comuni ad un'induttanza di valore elevato (qualche decina di Henry). Questa porta, perfettamente al centro, una presa che diventa un estremo del circuito ad *AT* continua che si completa attraverso gli e. negativi Il montaggio si presta ad essere usato sia con sei batterie di raddrizzatori elettrolitici, sia con valvole elettroniche, a mercurio, a gas ecc. come vedremo in seguito.

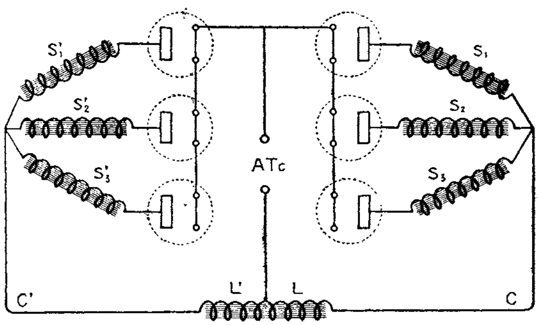


Fig. 380.

Poichè una corrente alternata esafase non è disponibile nella maggioranza dei casi, si possono ottenere risultati analoghi usando un comune trasformatore trifase. All'uopo si costruiscono su ogni branca di questo due circuiti secondari ad alta tensione che si collegano nel modo indicato dalla fig. 381.

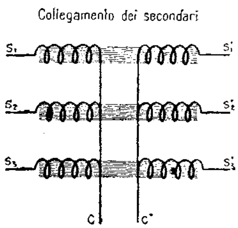


Fig. 381.

Considerando ora ambedue le figure si comprende chiaramente come in questo modo sia possibile alimentare i due gruppi di valvole.

Raddrizzatori a gas. — Ci siamo varie volte riferiti al fenomeno della ionizzazione ed abbiamo osservato come il più perfetto dielettrico (l'aria p. es.) può divenire una volta ionizzato un ottimo conduttore.

Ricordiamo ancora il meccanismo della ionizzazione stessa: esistono cioè in un gas, allo stato libero e quindi non associati a particelle materiali, elettroni in gran copia. Sotto l'azione di un campo elettrico essi si dirigono al polo positivo con velocità gradualmente crescente (accelerazione).

Ma nel loro cammino essi cozzano con atomi e molecole con tanta maggiore probabilità quanto meno rarefatto è il gas stesso, e se la loro velocità è sufficiente, essi riescono a liberare da questi, nuovi elettroni.

Restano quindi nuclei o ioni positivi che si dirigono al catodo bombardandolo, mentre i nuovi elettroni rinnovano il ciclo dei primi.

La dissociazione aumenta rapidamente finchè il trasporto di elettri-

cità è così notevole da essere rivelato anche dai nostri istrumenti meno sensibili. Il gas si dice allora ionizzato.

La condizione indispensabile necessaria alla ionizzazione è che gli elettroni al momento del cozzo abbiano una velocità sufficiente. Essi possono acquistare questa velocità in due modi distinti.

Il primo si verifica quando il gas da ionizzare è rarefatto: è evidente allora che per il numero ridotto di particelle materiali presenti, le probabilità di cozzo sono molto diminuite e quindi fra un urto e l'altro gli elettroni hanno tempo di acquistare una certa accelerazione. Poichè la loro « traiettoria media » è relativamente lunga, l'intensità del campo elettrico e quindi la differenza di potenziale fra gli elettrodi può essere molto piccola.

Il secondo caso si verifica quando manca la rarefazione o in genere in un gas compresso, quando cioè la densità è così notevole da rendere le collisioni oltremodo frequenti (traiettoria media molto corta).

L'effetto accelerazione non può allora essere sfruttato e soltanto un aumento di potenziale agli elettrodi è capace di imprimere agli elettroni la velocità necessaria alla ionizzazione.

Per ogni densità corrisponde una determinata « traiettoria media » degli elettroni e quindi anche un potenziale minimo di ionizzazione.

Esso rappresenta la forza capace di imprimere agli elettroni (in un percorso non superiore alla loro « traiettoria media ») la velocità necessaria alla ionizzazione.

Si comprende ora facilmente che (a densità e potenziale costanti) se si fa la distanza fra gli elettrodi inferiore alla « traiettoria media » degli elettroni, la velocità massima raggiunta da questi non potrà mai essere sufficiente alla ionizzazione. Il gas rimarrà un dielettrico pressochè perfetto tanto che nessuna corrente attraverserà la lampada.

Se però si riesce con qualche artificio ad allungare il percorso degli elettroni si ottiene di nuovo la ionizzazione e in definitiva si prova che la scarica attraverso un gas rarefatto segue una via lunga piuttosto che una corta.

Questo particolare comportamento fu riconosciuto come « principio della traiettoria corta » e ad esso ci riferiremo in seguito.

Applicando una differenza di potenziale fra gli elettroni di un tubo a gas rarefatto ($^1/_{100}$ atm.) si nota una luminosità parziale dell'elettrodo negativo finchè l'intensità della corrente per unità di superficie è piccola, luminosità che diventa completa con l'aumento della corrente.

Durante lo stadio di luminosità incompleta si nota che la caduta di potenziale fra gli elettrodi non dipende affatto dall'intensità della cor-

rente come succede in qualsiasi circuito elettrico contenente resistenza, ma è bensì costante.

Aumentando la corrente, quando cioè l'elettrodo negativo diventa completamente luminoso, la caduta di potenziale aumenta con l'aumento della corrente, in modo normale.

Supponiamo ora di costruire una lampada con elettrodi di dimensioni molto differenti e di aggiustare le cose in modo da rendere l'elettrodo negativo (il più ampio) semi-luminoso.

Fra i due elettrodi esiste allora una certa caduta di potenziale, caduta che aumenta non appena, invertendo la polarità, si rende negativo l'elettrodo di dimensioni minori (1).

Applicando una corrente alternata, lo stesso fenomeno si ripete rapidamente.

Si ha cioè una grande caduta di potenziale durante il semiperiodo che rende negativo l'elettrodo minore e una caduta minima per l'altro.

È allora evidente un parziale effetto raddrizzatore poichè la lampada presenta una grande e una minima resistenza nei due casi (2).

Possiamo renderci ragione di questo effetto anche per altra via. Sia l'elettrodo maggiore costantemente negativo. Esso è allora bombardato da ioni positivi che sprigionano elettroni i quali alla loro volta mantengono la ionizzazione.

Fra i due elettrodi vi sono allora ioni positivi e negativi che si distinguono principalmente per lentezza di movimento i primi o per grande mobilità i secondi, a cagione della differenza di massa.

Gli elettroni, seguendo la direzione del campo elettrico, tendono a raggrupparsi all'anodo e in questo modo gli ioni positivi che circondano il catodo vengono ad essere preponderanti facendo valere i loro effetti sotto forma di un'intensa carica spaziale positiva.

All'intorno dell'elettrodo negativo esiste quindi un potenziale molto intenso, poichè il potenziale cui sono portati gli elettrodi può dirsi principalmente applicato fra il catodo e la massa di ioni che lo circonda.

Quando la d. d. p. impressa su gli elettrodi anzichè continua è alternativa, queste condizioni si invertono regolarmente ad ogni periodo.

Analizzando bene il fenomeno si comprende che poichè ogni inver-

(1) Poichè in questo caso l'intensità della corrente relativa alla superficie è molto maggiore.

(2) Se il potenziale applicato è molto piccolo o la corrente usata è troppo ridotta si possono verificare le condizioni di potenziale costante anche quando è negativo l'elettrodo piccolo, e quindi cessare l'effetto raddrizzatore.

La stessa cosa accade naturalmente quando la corrente è tanto intensa da impedire che anche per l'elettrodo grande si verifichino le condizioni di caduta di potenziale costante (completa luminosità).

sione necessita uno spostamento di elettroni ed ioni fra uno e l' altro elettrodo la cosa mentre riesce molto bene ai primi (mobilissimi) è molto difficile ai secondi, tanto più difficile, quanto più elevata è la frequenza.

Per frequenze molto alte allora, l' inerzia dei ioni positivi li farà rimanere costantemente e in gran copia, nei pressi dell' elettrodo negativo.

Ciò favorisce naturalmente il passaggio di corrente attraverso la lampada durante i semi-periodi che rendono *catodo* l' elettrodo maggiore. L' effetto raddrizzatore è quindi evidente.

Se l' inerzia degli ioni stessi fosse molto grande, la cosa potrebbe verificarsi anche per frequenze molto basse. Recentemente si è trovato modo di aumentare « artificialmente » questa inerzia o meglio si è trovato modo di mantenere nelle immediate vicinanze del catodo una massa rilevante di ioni positivi.

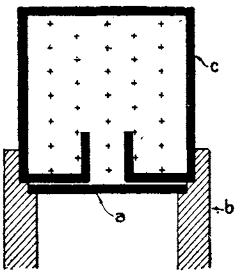


Fig. 382.

Si usano per questo due elettrodi formati come alla fig. 382 e tanto ravvicinati da non permettere affatto la scomposizione del gas che li separa (v. pag. 392). Uno dei due elettrodi porta un foro al centro che permette la comunicazione con l' interno.

Supposto questo elettrodo negativo esso attira ioni positivi i quali determinano all' interno un' intensa carica spaziale, e bombardando da altra parte le pareti ne liberano elettroni. Questi, attirati dall' anodo cozzando con le particelle positive le rinnovano continuamente mantenendo la ionizzazione.

Ciò è possibile perchè la « traiettoria media » percorsa dagli elettroni è relativamente lunga (v. pag. 392), mentre nel caso di polarità invertita la inevitabile riduzione di questa renderebbe molto più scarsa la ionizzazione.

Per quanto grande sia il numero (necessariamente ridotto a cagione della strozzatura) degli ioni positivi che raggiungono il catodo, essi non possono che liberare da questo elettroni i quali precipitandosi nell' interno del cilindro liberano nuove particelle positive e quindi aumentano ancora la carica positiva contenuta.

Per queste ragioni, qualunque sia la polarità della corrente essa produce nell' interno del cilindro una intensa e costante carica spaziale positiva.

Il sistema si presenta allora come un perfetto raddrizzatore, permettendo cioè il facile passaggio della corrente durante i semi-periodi che rendono negativo l' elettrodo cavo ed ostacolandolo durante gli altri.

Basandosi su questi principii, si sono costruiti efficienti raddrizzatori (denominati *valvole S*) capaci di fornire un centinaio di milliamperes sotto 1000 volts con una caduta di potenziale di qualche centinaio di volts.

I due elettrodi sono contenuti in un' ampolla di vetro nella quale la rarefazione si aggira su $^1/_{100}$ di atm.

La durata della lampada è influenzata da grado di vuoto che può venire modificato durante sovraccarichi che riscaldano gli elettrodi. Gli ioni positivi specialmente bombardando il catodo riescono a disintegrarlo.

Nelle lampade della pratica si è trovato utile, ad evitare questo difetto, costruire gli elettrodi in carbone. Ciò permette di mantenere una rarefazione costante durante lunghi periodi di funzionamento, a cagione, sembra, della porosità del carbone.

L' inserzione in circuito è identica a quella del raddrizzatore elettrolitico col vantaggio, che in condizioni normali, nessuna cura è necessaria durante il funzionamento.

La durata della lampada è di qualche migliaio di ore ma può essere spesso alquanto maggiore.

Raddrizzatori ad arco. — L' arco voltaico è universalmente noto. Esso può definirsi come dovuto all' evaporazione di sostanze più o meno conduttrici, accompagnata da ionizzazione. Infatti il contatto dei due elettrodi (innesco dell' arco) fa elevare la loro temperatura così che una parte di molecole viene evaporata. Molte di queste però presentano una carica positiva (hanno cioè perduto un elettrone) e quindi bombardano il catodo elevandone la temperatura. Sappiamo che conseguenza immediata è la liberazione di un grande numero di elettroni, numero che a temperature elevate diventa così grande da far pensare la quasi totalità della corrente che attraversa l' arco trasportata da particelle negative. Ma ambedue le cariche si sostengono a vicenda: le positive bombardando il catodo ne liberano elettroni i quali precipitandosi alla loro volta all' anodo scindono in ioni le molecole con le quali collidono mantenendo la ionizzazione. Le nuove cariche positive così liberate ripetono il ciclo ecc.

Data l' alta temperatura dell' arco, l' atmosfera che lo costituisce è formata essenzialmente dai vapori metallici provenienti dagli elettrodi i quali presentano un potenziale di ionizzazione estremamente basso. La ionizzazione è quindi anche per potenziali relativamente ridotti, così intensa, che *tutte* le molecole gassose vi prendono parte, naturalmente scisse nei loro ioni.

Si può dire cioè raggiunta la ionizzazione limite o totale.

Considerando un arco fra due carboni si nota che la temperatura dell'anodo è molto più elevata di quella del catodo e ciò conferma che la quasi totalità della corrente sia trasportata da elettroni. Ma d'altra parte abbiamo veduto che condizione essenziale perchè l'arco sia mantenuto è un'alta temperatura del catodo affinchè da questo possano essere liberati gli elettroni necessari.

Un catodo freddo (riducendo gli elettroni liberati ad un esiguo numero), impedisce che l'arco sia mantenuto. L'anodo invece può essere raffreddato senza danno.

Infatti in questo caso si impedisce soltanto l'evaporazione dell'elettrodo e quindi la presenza nell'arco dei vapori di quest'ultimo.

Ne risulta una minore ionizzazione totale e quindi la necessità di un aumento di potenziale per mantenerla. D'altra parte l'arco conterrà ancora assieme alle molecole dell'atmosfera nella quale è immerso quelle evaporate dal catodo e si manterrà quindi indefinitamente.

Esiste allora una dissimetria fra gli elettrodi e noi sappiamo ormai che ogni dissimetria può essere usata per determinare una conduttività unilaterale.

Supponiamo infatti di alimentare un arco ad *anodo freddo* con corrente alternativa. Non appena la polarità si inverte, la corrente attraverso l'arco diminuisce di molto perchè l'elettrodo freddo non emette una quantità sufficiente di elettroni. Questo parziale effetto raddrizzatore potrebbe essere reso massimo se la corrente in questo secondo tempo si riducesse a zero.

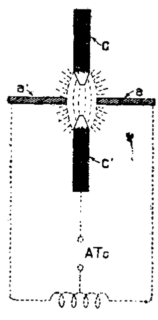


Fig. 383.

Per evitare in questo caso l'inevitabile smorzamento dell'arco lo si realizza a parte e si immerge nella sua atmosfera un anodo freddo separato.

L'arco è quindi mantenuto indefinitamente, mentre la corrente fra arco ed anodo passa soltanto quando questo ultimo è positivo. Con un numero multiplo di elettrodi freddi immersi nella fiamma di un arco si possono così rettificare correnti polifasi (fig. 383 *a*, *a'*, ecc.).

Il sistema non è tuttavia ancora entrato con successo nelle applicazioni correnti per difficoltà pratiche di funzionamento.

Archi a vapori di mercurio. — Un funzionamento molto più regolare si ottiene praticando il vuoto attorno agli elettrodi.

Essendo ora l'arco essenzialmente determinato dalla presenza di vapori metallici provenienti dagli elettrodi e quindi ionizzati, e poichè per ottenere l'evaporazione occorre raggiungere almeno il punto di ebol-

lizione, riuscirebbe difficile racchiudere in un'ampolla vuotata un insieme portato ad una sì alta temperatura.

Si gira la situazione adottando un catodo di mercurio il quale volatilizza ad una temperatura molto bassa. All'uopo in un'ampolla analoga a quella della fig. 384 si introduce del mercurio che funziona da catodo restando al fondo, mentre lateralmente ad una certa distanza si trovano gli anodi, numerosi a piacere.

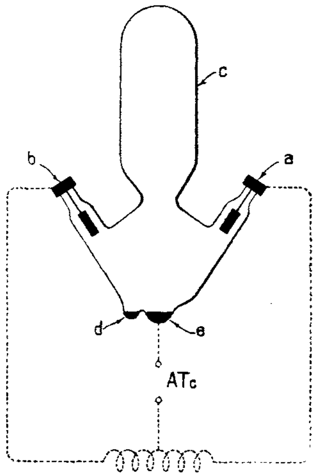


Fig. 384.

La parte *C* serve a condensare i vapori del catodo che ridiventano liquidi ritornando al fondo.

Supponendo di applicare un potenziale continuo fra catodo ed anodo una volta che la temperatura di questo sia sufficientemente elevata, si nota un passaggio continuo di elettricità attraverso la lampada.

La conducibilità è assicurata dai vapori metallici mantenuti ionizzati dagli elettroni che vengono continuamente liberati al catodo dagli ioni positivi che lo bombardano.

Molto più semplicemente che nel caso dell'arco comune, si trova ora che con anodi di ferro o grafite (presentanti cioè un calore specifico molto differente da quello del mercurio) l'arco si spegne completamente non appena si inverte la polarità.

Esso è quindi un ottimo raddrizzatore. Nel caso ora considerato, dell'uso cioè di una corrente alternativa con un solo anodo si avrebbe lo spegnimento dell'arco tutte le volte che la polarità si inverte o meglio per la rapidissima ricombinazione dei ioni, l'arco durerebbe soltanto per il primo semiperiodo e soltanto un nuovo riscaldamento del catodo potrebbe innescarlo di nuovo.

Questo difetto può rimediarsi sia usando un numero multiplo di anodi e quindi una corrente polifase, sia mantenendo costantemente caldo il catodo.

Nel primo caso l'arco salta fra uno e l'altro anodo e non può spegnersi perchè quando il potenziale fra uno di questi e il catodo si annulla esiste sempre un altro elettrodo a potenziale massimo.

Il secondo caso è ovvio e vari sono i sistemi escogitati per riscaldare a parte il catodo.

Noi esamineremo uno dei più semplici che si presta bene agli usi che ci interessano.

Pratica del raddrizzatore a mercurio. — Quando la natura dell'emissione non è continua ma bensì profondamente modulata (emissione telegrafica ad esempio) occorre prendere in considerazione l'inevitabile disinnesco dell'arco non appena la richiesta di corrente è esigua. Una resistenza continuamente inserita sul circuito di utilizzazione rimedia questo difetto ma nello stesso tempo diminuisce il rendimento. Quando ciò può essere tollerato senza danno il sistema è molto raccomandabile.

Quando la corrente da raddrizzare non è polifase e in genere quando si desidera eliminare questo inconveniente è utile il riscaldamento separato del catodo.

Per far ciò si mantiene innescato, a mezzo di una sorgente separata, un secondo arco fra il catodo e l'anodo ausiliario che serve all'innesco (*D* della fig. 384) così che si abbia una continua evaporazione.

Praticamente bastano 15-20 volts a mantenere l'arco ausiliario. La corrente continua necessaria può ottenersi sia da una batteria sia a mezzo di un raddrizzatore a *BT* (1).

Si rimedia al principale difetto del sistema e cioè al riscaldamento notevole in prossimità del catodo, immergendo la parte inferiore della lampada in un bagno di olio.

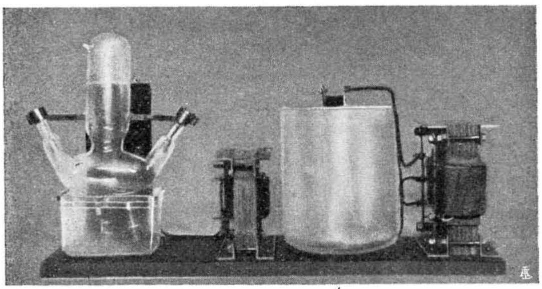


Fig. 385.

La fig. 385 mostra un raddrizzatore di questo genere con arco ausiliario alimentato attraverso un raddrizzatore elettrolitico.

La lampada da usare può essere una delle usuali lampade a mercurio dell'industria (portata 3-4 amperes). Lampade usate e scartate per basso rendimento possono pure utilizzarsi con buoni risultati a cagione della minima quantità di corrente richiesta nei comuni circuiti di placca (2). Il raddrizzatore si monta su un perno così da poter essere inclinato un istante al momento dell'innesco per permettere il contatto fra le due

(1) L'alimentazione con corrente alternata è stata pure usata con successo, ma presenta maggiori difficoltà.

(2) Il principale difetto delle lampade vecchie è di presentare depositi di mercurio lungo le pareti di vetro degli anodi. Si eliminano questi immergendoli *con cura* in acqua bollente. Nel caso la superficie del mercurio non fosse perfettamente tersa si ha la prova che il grado di vuoto è cattivo e la lampada non è utilizzabile.

vaschette di mercurio. Questa manovra può eseguirsi sia direttamente a mezzo di una cordicella, sia a distanza attraverso un' elettro-calamita. La caduta di potenziale per una lampada della portata su detta è di una quindicina di volts quindi assolutamente trascurabile nel caso dell' alimentazione placca; la tensione può essere anche molto alta senza che il rendimento (che è molto elevato) venga diminuito e la durata dello impianto è lunghissima.

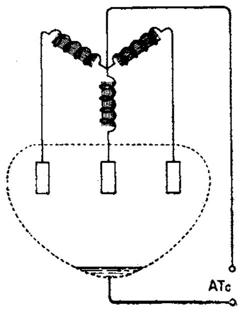


Fig. 386.

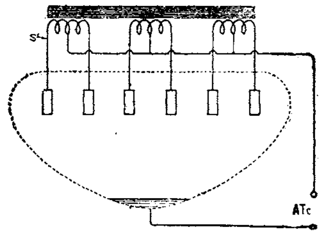


Fig. 387.

A questi vantaggi il raddrizzatore a mercurio aggiunge quello del raddrizzamento polifase a mezzo di una sola lampada come la fig. 386 mostra chiaramente. La corrente esafase, ottenibile col sistema della fig. 381 può essere anche in questo caso rettificata perfettamente con una lampada a sei anodi (fig. 387) e il sistema in opposizione esaminato a pag. 391 può semplicemente realizzarsi con due lampade a tre anodi (fig. 388).

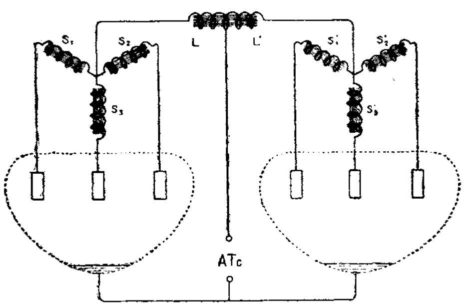


Fig. 388.

Il diodo a gas. — Per ottenere una notevole emissione elettronica in un ambiente di aria rarefatta, un metodo molto semplice consiste nel portare all' incandescenza nel suo interno un conduttore a mezzo della corrente elettrica.

In questo caso non si sfruttano più i vapori metallici del catodo capaci cioè di abbassare il potenziale di ionizzazione, ma soltanto la piccola quantità di gas residuo. Sebbene in questo caso l' emissione elettronica sia indipendente e non occorra un bombardamento di ioni positivi per liberare gli elettroni necessari, tuttavia questo bombardamento esiste e rappresenta il fattore più preoccupante nelle costruzioni pratiche per la grande riduzione nella vita del filamento che determina.

Si è risolta la cosa aumentando la pressione del gas residuo affinchè la mobilità degli ioni pesanti venga diminuita. Industrialmente si usa

infatti un catodo formato da un grosso filo immerso in un ambiente di *argon* alla pressione di $^{1}/_{10}$ di atmosfera.

La lampada funziona identicamente ai raddrizzatori a mercurio che abbiamo considerato e cioè con l' aiuto di un secondo elettrodo incapace di emettere elettroni così da impedire il passaggio di corrente quando la polarità si inverte.

La nota lampada *Tungar* appartiene a questa categoria di raddrizzatori: essa è formata da un filamento incandescente in prossimità di un elettrodo di carbone. Nel suo interno è posta una certa quantità di magnesio il quale per la sua grande attività di combinazione con l'ossigeno serve a purificare continuamente l' atmosfera di *argon* della lampada.

Una volta iniziata la scarica se la corrente è abbastanza intensa, il filamento può mantenre la sua temperatura di emissione per il solo effetto del bombardamento delle particelle positive.

È possibile cioè togliere la corrente al catodo senza che il funzionamento della lampada venga interotto. Questa particolarità mostra chiaramente la grande analogia che esiste fra questa e la lampada a mercurio. È bene tuttavia non utilizzarla in questo modo perchè l' accensione del filamento localizzandosi in un solo punto, ne ridurrebbe di molto la vita. Questo raddrizzatore per il bassissimo potenziale di ionizzazione si presta soltanto per tensioni relativamente basse ($<$ 150 v.).

Il raddrizzatore elettronico. — Sappiamo che nella totalità dei raddrizzatori il trasporto della corrente è essenzialmente dovuto ad elettroni; tuttavia è invalso l' uso di chiamare elettronici quei raddrizzatori nei quali il flusso di elettroni è prodotto in un ambiente *perfettamente* vuotato da un filamento incandescente.

Le caratteristiche di questo raddrizzatore ci sono note (v. parte 1ª pag. 75) quindi non ci resta che esaminarne il più conveniente e pratico uso. I circuiti sono evidentemente gli stessi di quelli elettrolitici ecc.; così è possibile utilizzare un solo semiperiodo, o ambedue (fig. 389) o una corrente trifase, esafase ecc. (fig. 380) con montaggi del tutto analoghi a quelli già esaminati.

È inutile ricordare che il filamento rappresenta il polo *positivo* della corrente raddrizzata.

Le lampade a due elettrodi si possono acquistare dal commercio o ridurle dagli audion usuali congiungendo insieme la griglia e la placca. Data la maggiore corrente che così passa fra filamento e anodo le lampade rettificatrici possono essere dello stesso tipo di quelle oscillanti, senza tuttavia richiedere una maggiore accensione e quindi restando in

funzionamento normale. In questo caso la tensione della corrente placca può essere elevata sopra il normale senza danno purchè non si aumenti proporzionalmente l'accensione e quindi la placca giunga al massimo da un impercettibile arrossamento.

In ogni montaggio di raddrizzatori elettronici il circuito del filamento essendo portato ad una tensione molto elevata deve essere perfettamente isolato da ogni altro circuito a tensione minore. Così se l'accensione si esegue con trasformatore, il secondario di questo deve essere isolato *con grandissima cura* dal primario, altrimenti la scarica passa fra i due avvolgimenti e il trasformatore è reso inservibile.

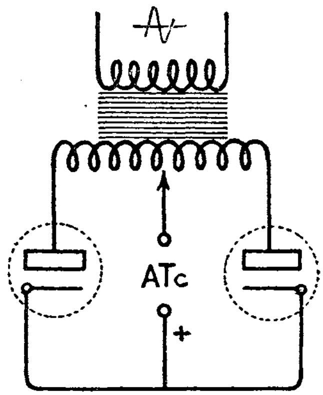


Fig. 389.

Nei riguardi della *qualità* della corrente continua, ottenuta in questo modo, occorre che la tensione ai filamenti sia il più possibile costante. Infatti *basta la più piccola variazione per determinare cambiamenti di nota e di frequenza* anche notevoli. Questo è uno dei principali difetti del sistema quando la frequenza da generare è molto alta, ma può essere rimediato con facilità prendendo le necessarie precauzioni ([1]).

A potenza ridotta e con valvole a filamento ossidato è buona cosa impedire che queste subiscano urti o vibrazioni durante il funzionamento sempre per lo stesso motivo. La corrente pulsante fornita da un raddrizzatore di questo tipo, è molto facilmente filtrabile e il suo uso è conveniente anche dal lato economico quando si facciano lavorare le lampade in condizioni normali. Si possono in questo modo raddrizzare altissime tensioni e grandi potenze in uno spazio relativamente ridotto.

La fig. 390 mostra infatti un raddrizzatore a 10 diodi raffreddati ad acqua capace di convertire varie centinaia di chilowatts (12 mila volts).

Il convertitore sincrono. — Il convertitore sincrono più semplice ad immaginare è il *collettore* di una dinamo. La sua funzione infatti è quella di invertire *i collegamenti dell'indotto* quando la corrente cambia di segno in modo che nel circuito di utilizzazione essa rimanga costan-

([1]) Generalmente basta un'emissione elettronica leggermente superiore a quella necessaria alla saturazione.

temente diretta in un senso. In questo caso il sincronismo è perfetto essendo indotto e collettore sullo stesso asse di rotazione.

Se la corrente è raccolta da una coppia di contatti continui abbiamo nel circuito di utilizzazione corrente alternata e la macchina generatrice prende il nome di alternatore. Ora se noi, desiderosi di convertire una parte di questa corrente alternata in continua, avessimo a disposizione l' asse motore della macchina, potremmo collettare in questa un adatto *commutatore*, (analogo al collettore precedente), in modo che *i collegamenti* fossero invertiti tutte le volte che la corrente cambia di segno. Avremmo così costruito un *convertitore* che può chiamarsi *sincrono* perchè la sua velocità di rotazione è la stessa di quella del generatore.

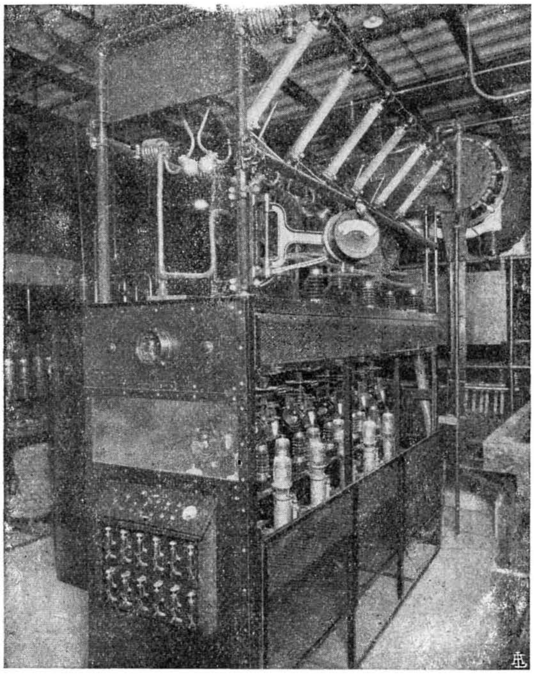


Fig. 390.

Praticamente però un sistema così semplice è raramente realizzabile. Si è allora pensato di riprodurre a distanza questo identico movimento in modo che fosse possibile eseguire dovunque la commutazione. All'uopo occorreva un istrumento che marciasse identicamente al generatore, fosse cioè *in sincronismo* con questo.

Eccoci quindi arrivati al vero e proprio convertitore sincrono che è campo di studio e di lavoro di molte persone e che sembra votato ad un grandioso avvenire, nelle applicazioni elettriche in genere. Nelle applicazioni radioelettriche che ci interessano, cioè per correnti ad AT e per potenze limitate, possiamo distinguere due tipi di convertitore sincrono: quello *vibrante* e quello *rotativo*. Trascurando il primo che non si presta ad un uso efficace quando la tensione è elevata resta il secondo che può sopportare anche le tensioni più alte.

Il motore sincrono. — Evidentemente è questa la parte capitale del convertitore. Se un alternatore portato alla sua velocittà di regime fosse alimentato da una corrente identica a quella da lui generata, continuerebbe a girare alla stessa velocità operando come motore. I grandi motori sincroni sono appunto di questo tipo e richiedono per essere messi in moto un motore ausiliario che li porti alla velocità di sincronismo. Nel nostro caso invece si ricorre a vari artifici per ottenere una messa in moto da fermo e per evitare l'eccitazione separata dell'induttore. In commercio si trovano piccoli motori sincroni che possono essere benissimo adattati.

La potenza deve essere abbastanza elevata ($^1/_5$ — $^1/_4$ HP). La necessità di una potenza notevole può apparire strana dato che nessun carico deve agire sul motore: tuttavia questo carico sebbene minimo è rappresentato dall'attrito delle spazzole sul commutatore, sufficiente, se il motore è debole, a fargli perdere la sua esatta velocità di sincronismo e quindi a rendere imperfetta e anche nulla la rettificazione.

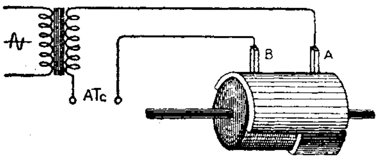


Fig. 391.

Il commutatore. — Dato un motore a due poli esso compie un giro completo per ogni periodo. Collettiamo ora sul suo albero un settore semicircolare (vedi fig. 391) e coll'aiuto della spazzola A teniamolo in contatto permanente con la sorgente di corrente alternata.

Ora applichiamo dall'altro lato del settore, una seconda spazzola B.

Il contatto di questa dura per un mezzo giro, poichè il settore è semicircolare, mentre per l'altra metà resta interrotto. Ora è possibile regolare le cose in modo che il circuito venga interrotto tutte le volte che la corrente cambia di segno e che quindi soltanto i semiperiodi dello stesso segno possano giungere al circuito di utilizzazione.

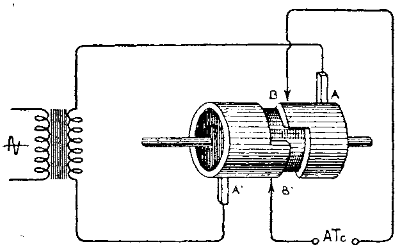


Fig. 392.

Volendo utilizzare ambedue i semi periodi basta duplicare il sistema: inserire cioè in senso inverso un secondo settore semicircolare (vedi fig. 392). Mettendo i due settori in contatto con ambedue i capi della linea alternata a mezzo delle spazzole A e A' e applicando in punti diametralmente opposti due nuove spazzole B e B', la corrente raccolta

da queste è diretta in un unico senso, come è facile dedurre dalla figura.

Se il motore ha quattro poli bisogna ricorrere ad un sistema differente. Si calettano sul suo asse due settori semicircolari della forma della fig. 393, e si applicano a questi in punti diametricalmente opposti secondo due assi ortogonali, quattro spazzole.

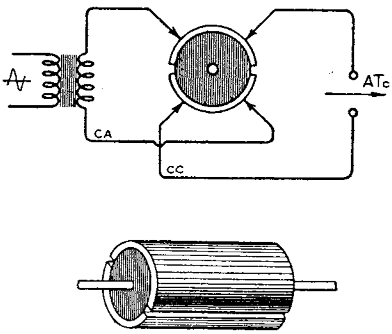


Fig. 393.

Le coppie di spazzole opposte si collegano rispettivamente al circuito *CA* e a quello *CC*.

Poichè in questo caso la velocità di rotazione è la metà della frequenza per ogni giro completo corrispondono due periodi. Ora essendo le spazzole in quattro punti diametralmente opposti abbiamo quattro inversioni per ogni giro e quindi la rettificazione dei quattro semi periodi.

Costruzione e pratica del convertitore sincrono. — Supponiamo di disporre del motore sincrono adatto. Per realizzare il convertitore bisogna costruire il commutatore il quale deve rispondere a vari requisiti:

— Deve essere solidale coll'asse motore e isolato da questo.

— Avere le interruzioni dei segmenti sistemate in modo da evitare l'incendio dell'isolante per l'inevitabile scintillamento.

— Avere la posizione delle spazzole regolabile durante il funzionamento per la messa in fase.

Tanto più grandi le sue dimensioni tanto più facile e sicura la costruzione dei segmenti e il loro isolamento: tuttavia data la maggiore superficie di contatto delle spazzole, il rumore durante il funzionamento aumenta col diametro. Per tensioni fino a 4000-5000 volts e per potenze non superiori al chilowatt si è trovato soddisfacente mantenere un diametro dai 15 ai 20 cm. Data l'alta velocità del motore occorre seguire speciali precauzioni affinchè il peso del disco sia uniformemente distribuito e la sua centratura perfetta.

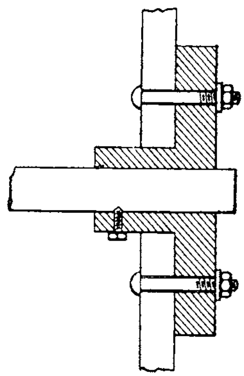


Fig. 394.

Occorre da prima costruire al tornio un'anima centrale in ottone o bronzo che si adatti perfettamente all'albero (vedi fig. 394). Essa porta alla periferia una serie di fori (2 o 4) che servono per fissare con bulloni

disco isolante. Questo è composto di materiale poco combustibile e di alto potere dielettrico (bakelite o materiali analoghi) e una volta fissato lo si rettifica con la massima precisione al tornio. Sulla periferia del disco si fissa infine con viti incassate e in modo molto solido un anello di ottone o di bronzo di 3 ·|· 4 millimetri di spessore (5) e quindi si ripassa ancora tutto al tornio (vedi fig. 395).

Arrivati a questo punto si tagliano per una larghezza di 15 millimetri

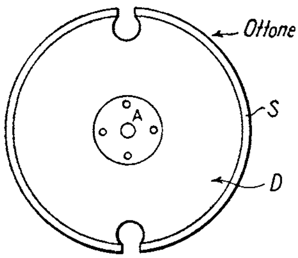


Fig. 395.

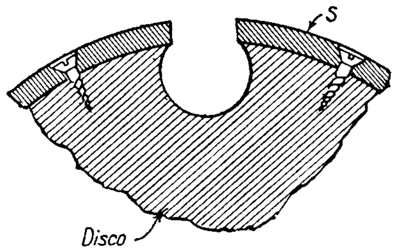


Fig. 396.

due scanellature diametralmente opposte nell'anello di ottone prolungandole poi nel disco isolante secondo la forma della fig. 396, in modo da aumentare il più possibile lo spazio isolante fra i due segmenti.

Questo sistema presenta lo svantaggio che la spazzola viene a trovarsi durante l'interruzione senza nessun appoggio, mentre ciò non avverrebbe se il taglio nel disco metallico fosse pieno di materiale isolante.

Questo secondo metodo dà un funzionamento meno rumoroso ma non è mai raccomandabile sia perchè la superficie isolante continuamente in attrito colle spazzole si ricopre di infime particelle metalliche che la rendono col tempo conduttrice, sia perchè le scintille di commutazione la bruciano rapidamente [1].

Per motori a due poli la costruzione del disco è differente sebbene la parte periferica rimanga la stessa. Occorre cioè aggiungere due anelli di contatto coi due settori metallici. Questi anelli possono essere concentrici o cilindrici paralleli. Il secondo metodo è forse il più pratico.

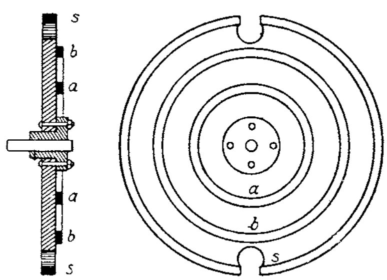


Fig. 397.

[1] Veggasi tuttavia più avanti il convertitore a due dischi che evita questo difetto (fig. 402).

Su questi anelli, in comunicazione con l' uno e l' altro settore rispettivamente, debbono scorrere le spazzole del circuito a corrente alternata.

A costruzione ultimata è bene verificare se il peso del disco è ugualmente distribuito in tutta la circonferenza (esso deve cioè restare fermo in qualunque posizione angolare). Per equilibrare eventuali piccole differenze si eseguono fori nell' isolante verso la periferia là dove vi è abbondanza di peso. Con queste precauzioni ben difficilmente si avranno a lamentare anche dopo lungo tempo difetti di funzionamento.

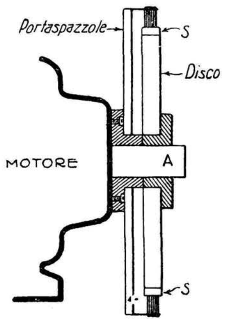


Fig. 398.

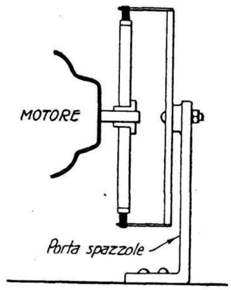
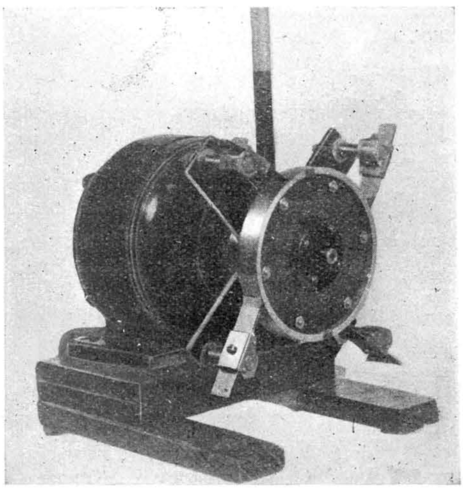


Fig. 399.

Spazzole di carbone non sono raccomandabili. Si useranno invece spazzole metalliche costruite al caso ripiegando o arrotolando su sè stessa una finissima rete di rame o ottone. Esse si montano in modo da potere essere spostate durante il funzionamento. Il porta spazzole è una semplice asta per il motore a due poli e una croce per quello a quattro.

Volendo montare tutto sul motore stesso si procede come indica la fig. 398, mentre usando una base si può fissare il portaspazzole dall' altra parte del disco (fig. 399).

La fig. 400 mostra il montaggio del primo tipo eseguito sul motore a 4 poli (4 spazzole).


Fig. 400.

Una volta costruito il raddrizzatore gli si immette una corrente alternata a tensione ridotta (quella industriale per esempio), quindi si aggiusta l' angolo delle spazzole fino ad ottenere la massima corrente nel lato *CC*. Si può inserire in questo una comune lampada ad incandescenza.

A questo punto si immette nel circuito la corrente alternata ad alta

tensione e si osserva lo scintillamento, ritoccando eventualmente l'angolo delle spazzole per diminuirlo. Nel caso che questo fosse eccessivo si può di molto ridurlo inserendo prima e dopo la spazzola principale due piccole spazzole collegate a questa attraverso una elevata resistenza (10000 ohms p. e. fig. 401). In questo modo si prolunga leggermente il contatto oltre la rottura e la scintilla risulta ridotta a cagione della elevata resistenza del circuito.

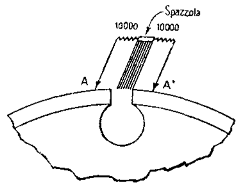


Fig. 401.

Però se la spaziatura è in aria uno scintillamento anche notevole non pregiudica per nulla la bontà del funzionamento, se si esclude la interferenza locale che lo scintillio stesso può provocare interferenza spesso rilevabile anche a vari chilometri di distanza. Quando il convertitore funziona egregiamente non si deve notare ai contatti che una luce bluastra continua.

Lo scintillamento delle spazzole dipende dalla relazione di fase fra tensione e corrente e per essere annullato, il contatto dovrebbe effettuarsi a potenziale nullo.

Praticamente la tensione ha sempre un valore diverso dallo zero data la lunghezza del contatto anche se con speciale precauzione il suo valore è molto ridotto [1]. Ma a seconda del valore del carico sul circuito *CC* e della natura di quasto carico può succedere che la tensione cominci a sfasarsi rispetto alla corrente e quindi le scintille diventino più intense e pericolose. Di qui la necessità che il circuito *CC* non sia induttivo. Nessuna preoccupazione finchè si alimentano direttamente le lampade col convertitore, ma se si desiderasse *filtrare* (vedi pag. 409) la corrente pulsante prima di mandarla alle placche, il carico induttivo così introdotto è dei più pericolosi e bisogna prendere le necessarie precauzioni. Si potrebbe pensare di aggiungere assieme all'induttanza una capacità in modo che i loro effetti contrari si bilanciassero rendendo nullo lo sfasamento. Ma a questo punto si avrebbe raggiunto la risonanza colla corrente da filtrare e il filtro anzichè impedirne il passaggio ne sarebbe attraversato nel migliore dei modi. Occorre allora fare sì che la frequenza di risonanza del sistema induttanza-condensatore così costituito sia molto minore di quella della corrente pulsante (frequenza = al doppio di quella *AC*). Occorre quindi un'induttanza molto elevata in serie all'*AT*

(1) Ora sebbene sia possibile variare l'angolo delle spazzole finchè l'apertura o chiusura si effettui a potenziale nullo, non è possibile che ciò si verifichi per ambedue i casi per il necessario intervallo che separa i segmenti. Per evitare ciò si sono costruiti dei dischi speciali i vari segmenti dei quali sono affiancati anzichè in linea così che l'intervallo fra uno e l'altro può esser reso nullo (v. fig. 402).

continua ed un grosso condensatore in parallelo. Per frequenza di 40-50 periodi risponde generalmente bene un' induttanza di 15-20 Henry e un condensatore in parallelo di una ventina di microfarad.

Data l' elevata tensione il condensatore in parallelo risulta molto costoso. Conviene allora costruire un circuito risonante completamente in serie. In questo caso però occorre badare all' isolamento ad alta tensione quando si raggiunge la risonanza.

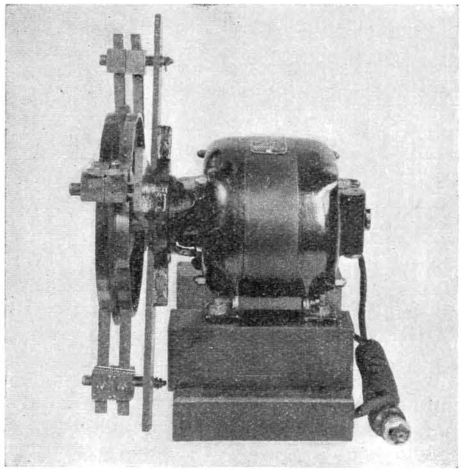


Fig. 402.

I valori, per le frequenze solite, sono di 60-70 Henry e un centesimo di microfarad.

Dato il grande numero di fattori che intervengono nel funzionamento causando lo scintillio alle spazzole non è possibile stabilire regole e dati precisi e sicuri, poichè soltanto per tentativi, caso per caso, si riusciranno a trovare i migliori valori della induttanza e della capacità.

Un notevole miglioramento specialmente evidente quando si usano filtri di grandi dimensioni, si basa sulla seguente considerazione derivata dall' esperienza: è possibile cioè con opportuni regolaggi ottenere l' apertura del circuito senza la più piccola scintilla, mentre la scintilla alla chiusura permane ed è tanto più potente quanto più grande è il filtro.

Essa è cioè determinata dal « ritorno » di una parte della carica accumulata nel filtro stesso, poichè il potenziale di questa al momento della chiusura è più elevato di quello del commutatore.

Inserendo allora una valvola capace di impedire questo ritorno (valvola agli estremi della quale è impressa soltanto la d. d. p. esistente fra filtro e commutatore) il scintillio dovrà essere completamente eliminato.

Ciò infatti è confermato dall' esperienza.

Basta all' uopo inserire su uno dei fili ad alta tensione continua (e prima del filtro) un piccolo raddrizzatore (elettrolitico, elettronico, a gas ecc.) realizzando lo schema della fig. 403. Un ulteriore miglioramento si ottiene inserendo una valvola su ognuno dei fili a corrente continua. In questo modo il convertitore riesce perfettamente indipendente dal filtro che può essere regolato a parte fino ad ottenere gli effetti migliori.

Poichè il filtro riesce in questo modo perfettamente isolato dal circuito [1], può conservare la sua carica per lungo tempo (oltre una ora per certi tipi). Ciò è molto pericoloso per l'operatore, il quale dovrà sempre prima di procedere a ricerche ecc. mettere per un istante in corto circuito i due reofori dell' AT continua. Una buona precauzione consiste nell' inserire costantemente sull'AT un voltmetro adatto.

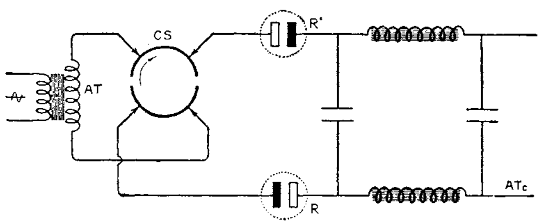


Fig. 403.

Una necessità indispensabile nel nostro caso, è un inversore sull' alta tensione continua, poichè la polarità, dipendendo dalla particolare posizione dei segmenti al raggiungimento del sincronismo, può essere spesso opposta al normale. Questo inversore deve potersi comandare con un lungo manico isolante con perfetta sicurezza per evitare il contatto col filtro sotto carica che è pericolosissimo.

Durante l' avviamento il motore sincrono assorbe una corrente intensa, quindi è consigliabile inserire un reostato o un' induttanza variabile sull' alimentazione.

Questo tipo di raddrizzatore una volta ben regolato e quando presenti uno scintillio trascurabile, può funzionare ininterrottamente per lunghissimo tempo senza richiedere alcuna cura.

Filtrazione e filtri. — Dicesi « *filtro elettrico* » o semplicemente « *filtro* » qualsiasi circuito che può essere più facilmente attraversato da una data corrente piuttosto che da un' altra. Generalmente è la frequenza di questa corrente che determina l' azione del filtro che è in questo caso chiamato « *filtro di frequenza* ».

Un circuito elettrico spezzato con un condensatore può dirsi contenere un filtro: infatti prescindendo dal fatto che nessuna corrente continua può attraversarlo, abbiamo una resistenza o meglio reattanza tanto maggiore quanto più bassa è la frequenza della corrente stessa [2].

[1] Così accade pure usando raddrizzatori elettronici, a gas ecc.

[2] La reattanza di un condensatore si considera negativa ed è data dalla semplice espressione $R = \frac{1}{2\pi f c}$ dove f è la frequenza in periodi al secondo, e c la capacità in farad. — Così un condensatore della capacità di 1 millesimo di microfarad presenta a 500 periodi una reattanza di $\frac{1}{6{,}28 \times 500 \times 0{,}001 \times (10^{-6})} = 318{,}500$ ohms circa.

Quando però si desiderano separare due correnti diverse a meno che la loro differenza non sia grandissima il solo condensatore non serve più. Si ricorre allora all' induttanza. Questa agisce analogamente al condensatore ma in senso perfettamente opposto: si lascia cioè facilmente attraversare da correnti continue o a bassa frequenza mentre si oppone a quelle di frequenza elevata ([1]).

Un' adatta combinazione di condensatori e di induttanze permette di realizzare un filtro d' azione efficace.

È facile comprendere come questo sia un vero e proprio circuito risonante (v. pag. 29).

Due sono i modi di collegare condensatori e induttanze:

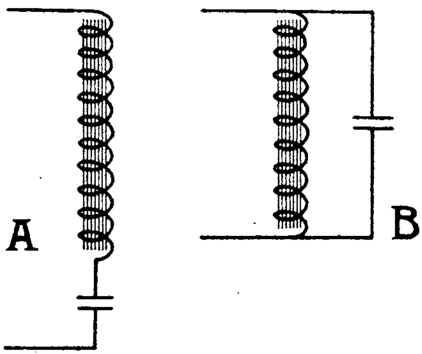


Fig. 404.

Il circuito risonante in serie (figura 404 *A*) è formato da una capacità e da una induttanza collegate in serie ed ha la caratteristica di lasciarsi attraversare dalla corrente tanto più facilmente quanto più la frequenza di questa si avvicina a quella propria o di risonanza del circuito stesso.

Il circuito risonante in parallelo (fig. 404 *B*) consiste in una capacità e una induttanza collegate in parallelo ed ha la caratteristica di non lasciarsi attraversare da correnti alla frequenza di risonanza. Si capisce come combinando questi due circuiti di proprietà così diverse sia possibile ostacolare o favorire il passaggio di determinate correnti e frequenze nel più svariato dei modi.

Noi ci occupiamo soltanto di una di queste applicazioni e cioè della eliminazione di ogni frequenza o di ogni gamma di frequenze superiore ad un minimo determinato. Così nel caso della « filtrazione » della corrente di una dinamo ci occorre un filtro capace di lasciare passare liberamente la corrente continua (frequenza zero) e di ostacolare quello di ogni componente alternata.

Una delle più semplici realizzazioni è rappresentata dalla fig. 405, dove L e C sono inseriti in modo da formare un circuito risonante in serie.

([1]) La reattanza di una induttanza è data da — $2\,\pi f L$ dove f è la frequenza ed L l' induttanza in Henry. Una induttanza di un millesimo di micro Henry ha quindi a 500 periodi una reattanza di 3 milionesimi di ohm.

Quando la frequenza della corrente di G è equivalente a quella di risonanza di LC, l'impedenza totale è nulla ([1]).

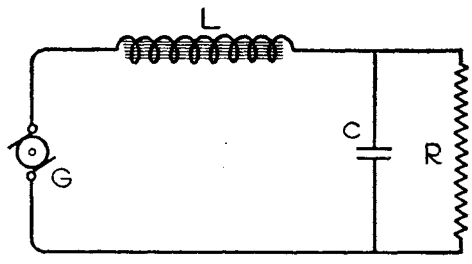


Fig. 405.

Avvicinandoci con la frequenza alla risonanza la corrente aumenta rapidamente tendendo a un massimo mentre la reattanza di C diminuisce proporzionalmente all'aumento di frequenza, ma non colla stessa rapidità della corrente. Quindi la tensione agli estremi del condensatore è ancora elevata e raggiunge anzi un massimo al punto di risonanza. Aumentando la frequenza la corrente diminuisce colla stessa rapidità colla quale era aumentata, mentre la reattanza del condensatore diventa sempre minore. A frequenza elevata la reattanza di L è elevatissima mentre quella di C si può considerare nulla. La tensione agli estremi del condensatore è pure nulla, quindi nessuna corrente alternativa fluisce attraverso a R. Si sarebbe così raggiunto il punto di massima efficienza del sistema filtrante per la corrente alternativa impressa mentre l'eventuale componente a frequenza inferiore o zero fluirebbe liberamente.

La frequenza di risonanza cioè quella alla quale il funzionamento *comincia* dicesi *frequenza minima di lavoro* del filtro.

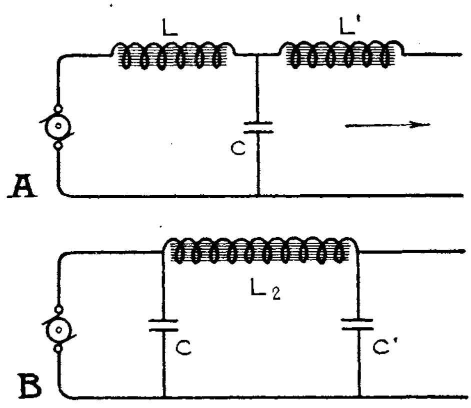


Fig. 406.

Questo è il principale motivo della diffusione di questo tipo di filtro: infatti per realizzarlo non occorrono calcoli laboriosi ma basta dare *grandi* valori all'induttanza e alla capacità: è per ciò che gli americani lo hanno chiamato *il sistema della forza bruta*, in contrapposto a quello dedotto col calcolo e che viene detto *dell'intelligenza*.

Miglioramenti molto notevoli

([1]) Infatti trascurando la resistenza ohmica del circuito l'impedenza totale è data dalla somma delle due reattanze (di C ed L) che essendo di segno contrario si annullano quando sono uguali. L'impedenza è data cioè da $\frac{1}{2\pi f C} - 2\pi f L$.

si ottengono modificando i collegamenti ed aggiungendo un numero multiplo di sezioni risonanti.

Nei riguardi dei collegamenti esistono due sistemi detti a *T* ed a *L*. Il primo è rappresentato dalla figura 406 *A* e non è altro che un circuito risonante in serie al quale è stata aggiunta l'induttanza *L'*.

Il secondo (fig. 406 *B*) ha un'induttanza unica L^2 e due condensatori *C* e *C'*. I valori di questi e dell'induttanza sono rispettivamente la metà e il doppio di quelli della fig. 406 *A*. Nel tipo a *T* variando la frequenza si notano punti di migliore rendimento mentre nel tipo ad *M* succede il contrario. Questa è l'unica differenza fra i due sistemi che si equivalgono, differenza che fa spesso preferire il primo al secondo.

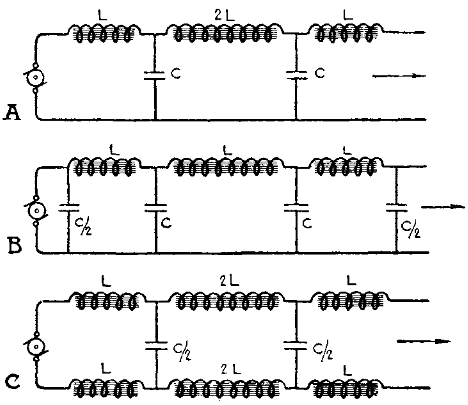


Fig. 407.

La fig. 407 *A* e *B* mostra sistemi multipli di collegamento rispettivamente per i tipi *T* ed *M* ed indica anche come stanno fra loro i vari valori di capacità ed induttanza. La fig. 407 *C* mostra infine un sistema più complesso di filtro nel quale le induttanze sono inserite su ambedue le branche del circuito.

Calcolo e costruzione. — Abbiamo visto che il filtro ha lo scopo di separare correnti di diversa frequenza o una corrente alternativa da una continua. Per ogni particolare filtro esiste una *frequenza minima* al di sotto della quale la sua azione cessa, e una frequenza per la quale la corrente da separare subisce il massimo assorbimento da parte del filtro cioè la *frequenza di massimo assorbimento*.

Così nel calcolo di un filtro occorre determinare i valori delle capacità ed induttanze in modo da venire a trovarsi nel migliore punto di questo campo.

Senza ricorrere ad un vero e proprio calcolo che potrebbe riuscire laborioso si possono racchiuderne i risultati in una serie di formule relative ai vari circuiti suscettibili di una *pratica* applicazione.

Tre circuiti della forma a *T* si prestano principalmente per facilità di costruzione e maggior economia di materiale:

Il primo, che abbiamo già esaminato nella fig. 406, è del tipo a *T*. La sua acutezza di separazione non è molto grande, ma va crescendo coll'aumentare della frequenza con lo andamento della curva della fig. 408, dove la linea solida indica il comportamento teorico non appena oltrepassato il punto di *frequenza minima f*, e quella punteggiata il comportamento effettivo. È quindi evidente che la frequenza da eliminare deve essere molto maggiore di quella *minima* (praticamente non meno di 2 o 3 volte). Le formule che danno i valori di L e C sono rispettivamente:

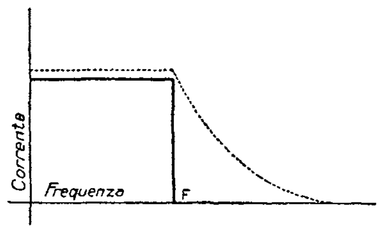


Fig. 408.

$$L = \frac{2Z}{2\pi f} \qquad C = \frac{2}{2\pi f Z}$$

dove Z è la resistenza del circuito di utilizzazione ed f la *frequenza minima* del filtro. Come esempio supponiamo di dover calcolare un filtro di questo tipo capace di eliminare una frequenza di 300 periodi. Fissando una *frequenza minima* 3 volte minore, cioè di 100 periodi, e una resistenza del circuito d'utilizzazione di 1000 ohms, abbiamo:

$$L = \frac{2000}{628} = 3.1 H \qquad C = \frac{2}{628.000} = 3.1 \ \mu \text{ farad}$$

Il circuito acquista quindi i valori della fig. 409. Questo è il più sem-

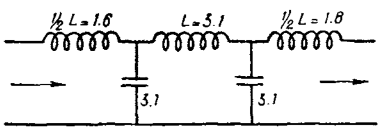


Fig. 409.

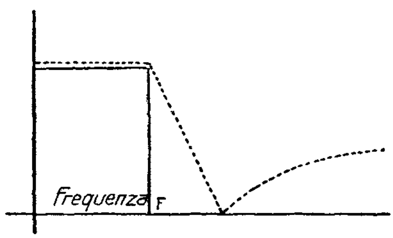


Fig. 410.

plice filtro, ma richiede dei valori molto elevati di self e capacità, affinchè risulti di buon rendimento, e ciò per quanto abbiamo da prima considerato nei riguardi della frequenza minima.

Per avvicinarsi invece alle condizioni teoriche senza aumentare di troppo questi valori, si presta bene il circuito della fig. 411.

In questo caso la *frequenza minima* è di poco inferiore a quella efficace (vedi fig. 410).

Il calcolo delle induttanze e capacità è un poco più complesso,

$$L = \frac{22}{2\pi f} n \qquad L_1 = \frac{22}{2\pi f} m \qquad C = \frac{2}{2\pi f 2}.$$

dove

$$n = \sqrt{a2 - 1} \qquad m = \frac{1}{4a\sqrt{a2 - 1}}$$

ed a è il rapporto fra la frequenza minima e quella di lavoro. Ritorniamo ora al nostro esempio precedente della filtrazione di una corrente di 300 periodi. Supponendo una frequenza minima di 200 periodi, abbiamo $a = \frac{2}{3}$, quindi rispettivamente n ed m uguali a 0.47 e 0.23. I valori cercati sono allora

$$L = 0{,}47 \times 3 = 1.41 \text{ Henry}$$
$$L_1 = 0{,}23 \times 3 = 0.69 \text{ »}$$
$$C = 0{,}47 \times 3 = 1.41 \text{ microfarad}$$

quindi il circuito ha le caratteristiche riportate nella fig. 411 arrotondando le cifre dei valori.

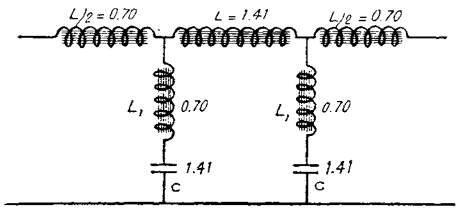


Fig. 411.

Questo è un esempio di un *filtro dell' intelligenza.*

Però assieme ai vantaggi di dimensioni minori dell' induttanza e capacità e della maggiore acutezza di filtrazione, ha lo svantaggio di presentare il massimo rendimento per una sola frequenza. Oltre a questa il rendimento diminuisce di nuovo, mentre nel caso da prima esaminato questo andava sempre aumentando coll' aumento di quella.

Un circuito esattamente analogo a questo come caratteristiche di funzionamento può ottenersi con un minor numero di self realizzando i collegamenti della fig. 412.

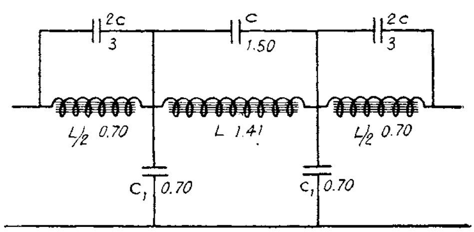


Fig. 412.

I valori delle capacità C e delle induttanze L sono gli stessi che nel caso prima esaminato.

Soltanto i valori di C_1 sono differenti e sono dati dalla

$$C_1 = \frac{2}{2\pi f Z} m.$$

quindi nel nostro caso si avrebbe

$$C_1 = 0{,}23 \times 3 = 0{,}69 \text{ microfarad}$$

e i valori arrotondati, equivalenti a quelli del disegno.

Questo è forse fra tutti il più economico dei filtri essendo le capacità soggette ad *AT* di valori relativamente piccoli, tuttavia esso non può essere usato che quando la frequenza da filtrare è una sola, ben determinata e costante.

Queste sono le ragioni che permettono che il *filtro a forza bruta* si dimostri spesso superiore ad ogni altro per quanto accuratamente questo sia calcolato.

Infatti, prescindendo dal fatto che fra il calcolo e la pratica applicazione esiste sempre qualche differenza, nei casi comuni di filtrazione di una corrente pulsante ci si trova in presenza di un numero multiplo di frequenze da filtrare sia per l' imperfetto funzionamento del raddrizzatore, sia per quello del generatore stesso, e quindi è conveniente un filtro che le ostacoli tutte a partire da un minimo determinato.

Le figure 406 e 407 mostrano le più comuni realizzazioni pratiche di collegamento per questo tipo di filtro.

Riguardo ai valori relativi alla induttanza e capacità non è possibile esprimerli matematicamente per la natura stessa del sistema.

Tuttavia per i casi comuni di filtrazione cioè per frequenze dai 30 ai 100 periodi si possono adottare i valori della figura 413 *ABC*, con rendimento ottimo e leggermente decrescente fra i tipi *A*, *B* e *C* nell'ordine.

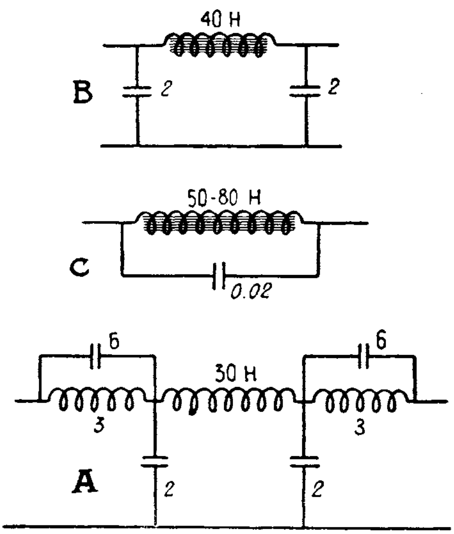


Fig. 413.

Dati pratici sulle induttanze. — Nella costruzione delle induttanze si debbono seguire tutte le precauzioni che abbiamo considerato nel caso dei trasformatori ad *AT*.

L'avvolgimento, in più sezioni, se molto lungo e specialmente se dovrà lavorare vicino alla risonanza sarà ben isolato dal nucleo di ferro

e avrà una sezione del conduttore sufficiente a permettere un sicuro passaggio della corrente ad *AT*.

Il circuito magnetico non deve chiudersi completamente ma deve essere interrotto.

Questa precauzione è indispensabile per ottenere un buon funzionamento del filtro. Abbiamo infatti due correnti che lo attraversano: quella continua e la componente alternata da eliminare. Ora la prima magnetizza permanentemente il nucleo quindi limita ed ostacola e modifica il flusso magnetico determinato dalla componente alternata.

Ciò dà luogo alla produzione di armoniche e ad una grande diminuzione dell'effetto filtrante dell'induttanza.

L'interruzione del circuito magnetico è quindi principalmente necessario per evitare la saturazione del nucleo sotto l'azione della corrente continua che lo attraversa. È utile ma non indispensabile che l'intervallo sia regolabile. Un sistema molto pratico è di separare le due branche con piccoli spessori di feltro (fig. 414).

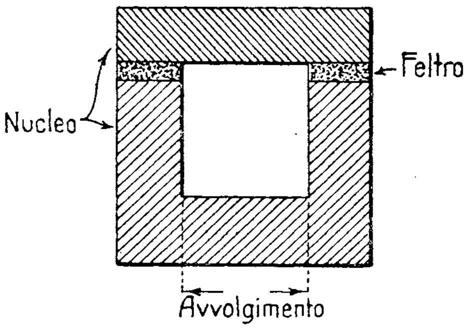


Fig. 414.

Ora questa necessità riduce di molto il valore della induttanza, quindi l'interruzione non deve essere troppo grande per impedire un inutile spreco di materiale, nè troppo piccola da influire sulla qualità della filtrazione. È utile poterla regolare quando il filtro completamente ultimato è posto in azione. All'uopo si può costruire un circuito simile a quello della fig. 415 ed ascoltare alla cuffia (*lasciata sul tavolo*) fino a sentire il minimo rumore possibile variando la larghezza della fenditura.

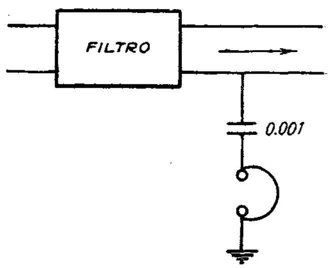


Fig. 415.

La cuffia sarà messa in contatto permanente col suolo e si eviterà di toccarla durante il funzionamento; così pure per eseguire i necessari regolaggi è *indispensabile togliere la corrente dal circuito.*

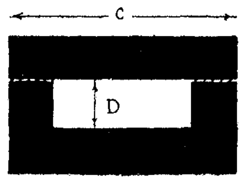
Per facilitare la costruzione delle induttanze può servire la tabella della pagina seguente.

Sezione del nucleo	Portata 50 milliamperes diametro del filo mm. 0.18						Portata 100 milliamperes diametro del filo mm. 0,24						Portata 250 milliamperes diametro del filo mm. 0,35						Portata 500 milliamperes diametro del filo mm. 0.5					
in mm.	**H**	**S**	**A**	**B**	**C**	**D**	**H**	**S**	**A**	**B**	**C**	**D**	**H**	**S**	**A**	**B**	**C**	**D**	**H**	**S**	**A**	**B**	**C**	**D**
12 × 12 mm.	0.5	1600	0.4	12	40	12	0.5	0.4	1600	12	40	12	0.5	1600	0.4	12	50	20	0.5	3200	8	12	75	35
	1	2300	0.4	12	45	12	1	0.4	2300	12	55	18	1	3200	3	12	65	30	—	—	—	—	—	—
	5	5200	0.8	12	55	18	5	0.4	5200	12	60	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	7600	0.8	12	60	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25 × 25 mm.	15	4800	0.8	25	75	20	5	0.8	2600	25	70	18	1	1100	0.4	25	70	18	0.5	800	24	25	75	20
	20	5700	1.2	25	80	20	10	0.8	3800	25	75	20	5	3700	4.5	25	90	32	1	1600	5	25	90	30
	50	11000	2.8	25	90	25	15	0.8	4800	25	80	24	—	—	—	—	—	—	5	7800	18	25	130	50
	100	18000	6.5	25	95	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50 × 50 mm.	100	8900	6.5	50	120	25	15	0.8	2400	50	120	16	5	1300	0.8	50	120	20	1	560	5	50	120	20
							20	1.2	2900	50	130	18	10	2000	1.2	50	130	25	5	1800	5	50	135	30
							50	2.8	5300	50	135	24	15	3300	5.2	50	140	30	10	3800	10	50	160	38
							100	6.5	8900	50	150	30	20	4000	7.2	50	145	35	—	—	—	—	—	—
75 × 75 mm.													15	1600	1.2	75	170	20	15	2600	8	75	180	35
													20	1900	1.2	75	175	22	20	3500	9	75	200	40
													50	5000	8	75	180	35	50	8700	18	75	225	60
													100	8400	15	75	210	40	100	16700	36	75	250	75

Il filo s' intende di rame puro smaltato. — Le varie lettere indicano:

H induttanza in Henry
S numero delle spire
A intervallo d'aria del nucleo
B spessore del nucleo
C lunghezza della parte lunga
D lunghezza della parte corta

Il nucleo s'intende formato come al disegno.



Manipolazione con alimentazione CA. — Abbiamo già visto nel capitolo precedente quanto importante sia a frequenza elevata, la bontà della manipolazione, e come questa possa causare interferenze dannose e nocive.

La facilità colla quale è possibile portarsi in buone condizioni nei riguardi della purezza della manipolazione e dell'interferenza è uno dei principali pregi della alimentazione con *CA*. Sappiamo infatti (v. pag. 375) che per eliminare l'interferenza e rendere pura la manipolazione, è necessario che tra l'impulso del tasto e la eccitazione completa dell'antenna passi una frazione apprezzabile di tempo. Ora se noi inseriamo il tasto sul primario del trasformatore *AT* otteniamo *quasi sempre* questo ritardo senza alcuna altra precauzione (fig. 416). Tuttavia se l'impedenza del trasformatore non fosse sufficiente si può facilmente rimediare introducendo sul circuito secondario un' adatta induttanza.

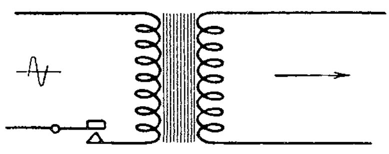


Fig. 416.

La fig. 417 mostra la semplice realizzazione per un circuito utilizzante uno solo o ambedue i semi periodi.

I valori delle induttanze variano generalmente fra *1* e *4 Henry* a seconda del tipo di trasformatore. Essi possono calcolarsi dalla tabella di pag. 417, e si costruiscono possibilmente con prese intermedie per la ricerca del miglior punto di funzionamento.

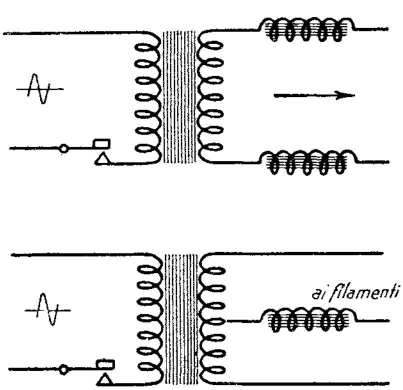


Fig. 417.

La manipolazione sulla griglia è sempre da evitare.

Quando, prima di immettere l'*AT* sulle placche, questa viene raddrizzata con un convertitore elettrolitico o elettronico, l'inserzione di ulteriori induttanze ritardatrici non è quasi mai necessaria poichè esse sono sostituite dal convertitore stesso e ciò è ancor più evidente se dopo il raddrizzatore si inserisce un sistema filtrante.

Ma a questo punto occorre tenere conto della natura del filtro stesso. Quando questo è del tipo *calcolato* e quindi i valori delle sue induttanze e capacità sono relativamente piccoli la manipolazione sul pri-

mario è la migliore sotto tutti i rapporti. Ma se questo è dell'altro tipo, con sovrabbondanza di self e capacità ciò non è più possibile perchè il ritardo tra l'abbassamento del tasto e l'eccitazione dell'antenna sarebbe tanto notevole da pregiudicare la qualità della manipolazione fino a renderla indecifrabile.

In questi casi (e lo stesso si dica quando si usa un raddrizzatore a gas) occorre eseguire una manipolazione analoga a quella indicata nel capitolo precedente, per l'uso di corrente continua ad *AT*, e cioè direttamente sull'alta tensione a mezzo di adatto *relay* o di un tasto speciale.

Personalmente ho notato che una notevole percentuale delle stazioni emittenti ad onda corta è difficilmente leggibile appunto per la cattiva qualità della manipolazione sebbene la nota dell'emissione sia spesso delle migliori.

Un po' di cura al riguardo, secondo le raccomandazioni precedenti, è tutto quanto occorre per eliminare questo diffetto.

L'alimentazione del filamento. — Il filamento delle lampade sia rettificatrici che oscillatrici può essere alimentato con corrente continua o alternata.

Il primo caso è utile quando non si possa disporre altrimenti di una sorgente costante di corrente per l'accensione poichè la più piccola variazione di questa nuoce alla stabilità dell'onda e della nota.

Esso è anche raccomandabile nel caso di alimentazione placca ad accumulatori, quando si desidera che la modulazione della *CA* non sia udibile anche nelle immediate vicinanze del trasmettitore.

Il principale svantaggio del sistema è la limitazione della vita delle lampade. Infatti, specialmente poi quando la frequenza è molto elevata, la corrente elettronica placca-filamento è più intensa all'estremo filamento collegato con la batteria *AT* quindi determina un maggiore riscaldamento di quest'ultima porzione.

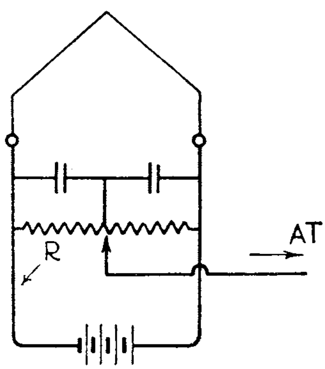


Fig. 418.

Questo difetto può rimediarsi in gran parte usando l'artificio di collegare la batteria *AT* al filamento a mezzo di una resistenza in parallelo a questa con una presa equipotenziale al centro (v. fig. 418).

Occorre però inserire fra le due metà di questa due condensatori di capacità sufficiente a lasciare liberamente passare le correnti ad *AF*. Questi potranno essere comuni condensatori da ricezione di una capacità compresa fra 200 e 2000 $\mu\mu f$ a seconda della frequenza.

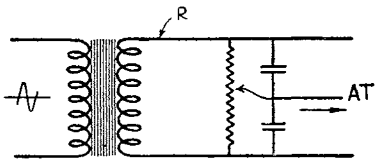


Fig. 419.

Salvo questi casi particolari è più conveniente eseguire la accensione con corrente alternata. Occorre naturalmente un trasformatore riduttore della corrente stradale e il collegamento alla *AT* deve farsi in un punto equipotenziale per evitare che la corrente del filamento riesca a *modulare* quella placca, rendendo impura la più perfetta sorgente di corrente continua. Il sistema migliore è senza dubbio quello di usare un potenziometro attraverso il secondario del trasformatore (capace s' intende di essere attraversato senza danno della intensità di placca) e sistemato come alla fig. 419, coll' aiuto di due condensatori analoghi a quelli descritti.

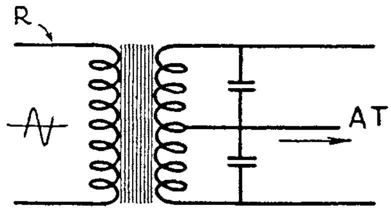


Fig. 420.

Questo artificio è generalmente migliore dell' altro, pure molto usato di una presa equipotenziale al centro del secondario (fig. 420).

Per eseguire questa presa conviene avvolgere due secondari perfettamente identici e collegarli in serie utilizzando il punto d' unione.

Una vita molto più lunga della lampada si ottiene eseguendo l' accensione gradualmente a mezzo di un reostato o reattanza anzichè bruscamente.

La posizione del reostato deve essere scelta con criterio: infatti occorre evitare che questo muti l' equilibrio della presa equipotenziale. Nei circuiti delle fig. 418 e 419, esso può inserirsi senza danno nei punti segnati *R*, mentre in quello della fig. 420, è impossibile eseguire la regolazione sul secondario essendo questo già perfettamente equilibrato. Bisogna allora utilizzare un reostato ad alta tensione ed inserirlo sul primario del trasformatore stesso. È bene in questo caso che il reostato non si riscaldi troppo per evitare variazioni di resistenza che si risentirebbero immancabilmente nel circuito di accensione.

Risultati molto buoni si ottengono con induttanze a ferro mobile che permettono una regolazione dolcissima e precisa dell' accensione.

Si costruiscono all' uopo dei rocchetti molto lunghi rispetto al diametro (4-5 volte) e si avvolgono con il massimo numero di spire del massimo diametro possibile.

Introducendo più o meno il nucleo di ferro si ottiene poi la regolazione necessaria.

Precauzioni generali. — È indispensabile che la tensione del filamento sia esattamente controllata e mantenuta uguale a quella prescritta dal costruttore. Usando lampade a filamento di tungsteno *un aumento di tensione del 5 %₀ riduce a metà la vita del filamento* mentre una riduzione del 5 % la prolunga del doppio.

Ciò è sufficiente a compensare l' acquisto di un voltmetro anche di dimensioni ridotte, che si collegherà direttamente alle prese d' accensione della lampada. La tensione normale di funzionamento sia circa al centro della scala per una maggiore precisione di regolaggio.

Nella lampada a filamento ossidato, il quale per la sua debole temperatura di lavoro non va soggetto ad assottigliarsi, è più conveniente l' uso di un ampermetro in serie. Nell' inserzione di questo occorre cercare di non alterare l' equilibrio del circuito.

Un altro fattore importante del circuito d' accensione quando questa è eseguita con corrente alternata, è l' isolamento del secondario del primario.

Accade spesso in molti montaggi di trasmissione che fra primario e secondario venga applicata tutta la tensione di placca.

Ora è generalmente raccomandabile che ciò possa accadere senza danno poichè se è vero che è possibile mettere a terra il secondario, alle volte per una dimenticanza il contatto con questa venendo a mancare, il trasformatore sarebbe reso inservibile. D' altra parte il contatto diretto col suolo del secondario non è spesso possibile per la natura del circuito di utilizzazione; così nella fig. 421, fra secondario e primario è impressa una alta tensione sufficiente a perforare gli usuali isolamenti a bassa tensione. In questo caso è bene modificare il circuito in modo che sia possibile il contatto col suolo. La cosa più semplice è quella di portare il contatto col suolo a destra del condensatore *C* (punteggiato). Ma in questo caso l' antenna è portata ad un potenziale (continuo) elevato e quindi

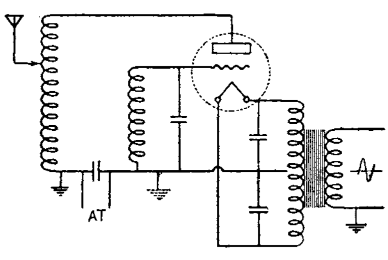


Fig. 421.

pericoloso e il condensatore *C* deve permettere il passaggio di tutta la corrente oscillante. Conviene allora modificare il circuito come alla fig. 422, adottando cioè l'alimentazione in parallelo. Questo esempio

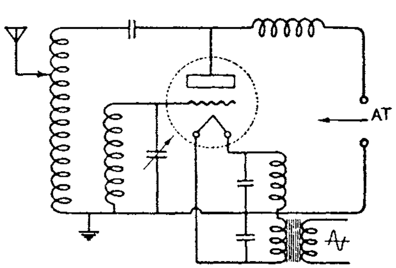


Fig. 422.

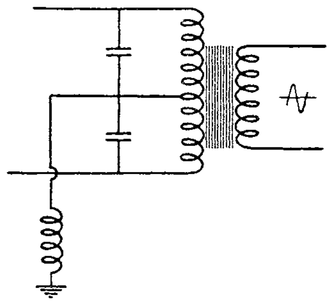


Fig. 423.

serve a indicare in senso generico la via da seguire in casi simili.

Alle volte il contatto col suolo può essere non desiderabile per il buon funzionamento dell'oscillatore e del sistema radiante.

Per mantenerlo, senza che la sua influenza sia menomamente sentita è sufficiente eseguirlo attraverso ad una bobina di blocco (50-200 spire a seconda della frequenza), vedi fig. 423.

CAPITOLO V.

LA MODULAZIONE

La ragione della modulazione. — Consideriamo il circuito della figura 424.

Una vibrazione sonora incidente pone in vibrazione la lamina del microfono (M) determinando variazioni nella corrente che percorre il circuito primario.

La corrente alternata indotta nel secondario, che segue fedelmente queste variazioni, può determinare la produzione di onde e. m. quando gli estremi del secondario siano collegati ad un sistema radiante di *adatte dimensioni*.

Queste onde e. m. si propagano a distanza e possono indurre in circuiti ricevitori di *adatte dimensioni* correnti indotte identiche a quelle che percorrono il circuito secondario, suscettibili quindi di imprimere alla lamina di un telefono (T) vibrazioni analoghe a quella della lamina microfonica.

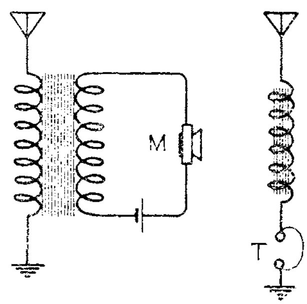


Fig. 424.

Evidentemente questo non è altro che un semplicissimo sistema di telefonia senza fili. Difficile da realizzare in pratica però; infatti pensando che la potenza irradiata da un' antenna aumenta col quadrato della frequenza, occorrebbero dimensioni colossali ed inconcepibili del sistema radiante per ottenere un rendimento anche esiguo con frequenze così basse quali sono quelle sonore ([1]).

Il sistema ha quindi soltanto un valore didattico ed illustrativo allo scopo di meglio comprendere quanto sta per seguire.

Data l' impossibilità di usare le frequenze di ordine sonoro per generare onde e. m. si ricorre ad un altro sistema.

([1]) Supponendo per esempio che la corrente da irradiare fosse modulata dalla parola umana (da 300 a 3000 periodi al secondo) avremmo a seconda dell' articolazione nostra un emissione di onde di varia lunghezza e precisamente comprese fra *1000* e *100 chilometri.* Ciò può dare un' idea delle dimensioni dell' antenna necessaria.

Si variano cioè con questa e proporzionalmente a questa le caratteristiche di una corrente oscillante a frequenza radioelettrica (e quindi facilmente « irradiabile » in modo che il trasporto a distanza della frequenza d'ordine sonoro venga effettuato da quella).

I vari sistemi che permettono di eseguire questa operazione (di variare cioè l'ampiezza di una corrente ad AT secondo le variazioni di un'altra corrente a frequenza minore) si dicono sistemi di « *modulazione* ».

L'onda ad AF appunto per la sua funzione di trasportatrice si dice *onda di supporto* o *modulata*, mentre la frequenza impressa dicesi *frequenza di modulazione.*

Praticamente tutti i tipi di trasmettitori radioelettrici sono basati su sistemi più o meno variati di modulazione. Così per realizzare qualsiasi comunicazione telegrafica si « modula » con la frequenza dei punti e delle linee l'emissione, la quale può essere a sua volta interrotta a frequenza udibile (onde smorzate e modulate).

Alla stessa guisa è possibile modulare l'emissione, anzichè con una frequenza determinata e fissa, con un'intera gamma di frequenze e con variata intensità, come nel caso della trasmissione della parola, della musica o delle immagini.

È possibile modulare la corrente oscillante prodotta da qualsiasi generatore; noi tuttavia consideriamo soltanto il caso dell'oscillatore a valvola, come il più moderno e il più pratico.

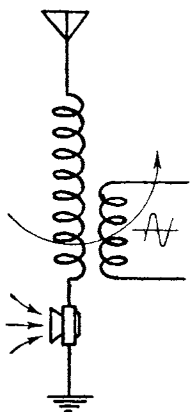


Fig. 425.

Poichè il compito del modulatore è generalmente di fare variare entro certi limiti la corrente d'antenna, il più semplice sistema è di inserirlo addirittura nel circuito irradiante. Consideriamo infatti la fig. 425, e supponiamo che sul circuito d'aereo sia inserito un comune microfono. È noto che la resistenza di questo varia coi movimenti della membrana: in condizioni di quiete questa resistenza è costante e la corrente d'aereo raggiunge un valore pure costante in relazione alle caratteristiche del circuito stesso. Essa può graficamente rappresentarsi con una sinusoide di ampiezza costante (fig. 426).

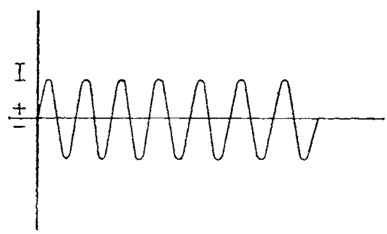


Fig. 426

Prendiamo ora un istrumento capace di dare una vibrazione acustica pura (un diapason, per esempio) e poniamolo vicino al microfono.

La membrana è allora messa in movimento e la resistenza del microfono variata proporzionalmente.

Poichè tutti i fattori del circuito d'aereo sono costanti la corrente segue la variazione di resistenza aumentando o diminuendo inversamente a questa.

Così quando la membrana ha un movimento verso l'interno e quindi di compressione sui granelli, la resistenza diviene minore e la corrente aumenta, mentre accade il contrario quando la membrana è sollecitata verso l'esterno.

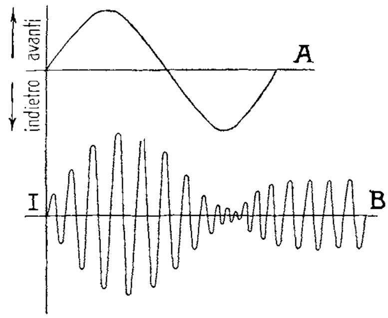


Fig. 427.

Rappresentando graficamente le vibrazioni della membrana (supposte sinusoidali) con la curva *A* abbiamo corrispondentemente in *B* le variazioni dell'intensità della corrente oscillante (fig. 427).

Questo andamento ci dimostra che le variazioni di corrente corrispondono perfettamente agli spostamenti della membrana e quindi alla vibrazione acustica che la colpisce.

Vediamo ora in che modo sia possibile riprodurre al ricevitore la vibrazione acustica trasmessa.

La f. e. m. indotta sull'antenna ricevente è un'esatta riproduzione di quella impressa sul radiatore. Dopo rettificazione (1) essa può rappresentarsi con una metà della curva *B* e precisamente con la fig. 427 che dimostra le variazioni della corrente pulsante.

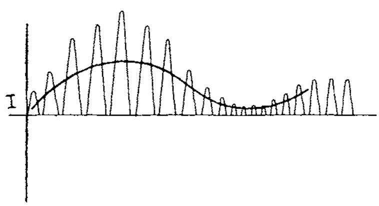


Fig. 428.

Data l'impedenza del telefono e agendo questo da « filtro » soltanto una corrente continua di intensità lentamente variabile può attraversarlo, intensità che rappresenta la media dei valori della corrente pulsante.

La corrente che attraversa il ricevitore (tratto marcato della fig. 428), varia dunque fra un massimo e un minimo alla frequenza esatta di

(1) Supponendo per ora un raddrizzatore che fornisca una corrente direttamente proporzionale alla f. e. m. impressa.

modulazione: il telefono riproduce quindi fedelmente la vibrazione acustica impressa al microfono.

Percentuale di modulazione. — L'intensità dei segnali al ricevitore dipende esclusivamente dalla grandezza di variazione della corrente d'aereo ossia dalla *percentuale* di modulazione.

Se questa percentuale è piccola, nessun aumento nell'intensità di ricezione può ottenersi anche se si aumenta di molto la potenza irradiata. Per far ciò occorre invece portare il valore della modulazione al massimo possibile, raggiungibile quando la corrente d'antenna varia fra lo zero e il doppio del normale.

Si dice in questo caso la modulazione è del *100 %₀ o completa.*

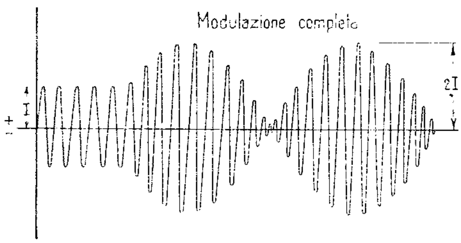


Fig. 429.

La fig. 429 mostra appunto l'andamento della corrente oscillante modulata completamente con una frequenza sinusoidale.

Ma la corrente fornita dai rivelatori più comuni della pratica (audion e cristallo) non è direttamente proporzionale alla f. e. m. impressa come abbiamo finora supposto. Poichè essa varia secondo il quadrato della f. e. m. la corrente raddrizzata non è più una esatta riproduzione di quella oscillante ma risulta bensì modificata o *distorta.*

Di qui la singolare necessità di cambiare la forma della corrente modulata rispetto a quella che ci fornisce il microfono in modo che la riproduzione divenga esatta soltanto dopo la rettificazione.

Un altro fattore che influenza la purezza della trasmissione telefonica è il decremento (v. pag. 56) tanto del circuito trasmettitore che di quello ricevitore.

Per una buona riproduzione è necessario che il decremento non sia troppo basso. Supponiamo infatti che una f. e. m. molto smorzata sia impressa in un circuito di poca resistenza (piccolo decremento) e in risonanza con la frequenza della f. e. m. stessa.

La corrente nel circuito raggiunge un valore elevato quindi si spegne molto lentamente a cagione dell'esiguo smorzamento del circuito. In questo modo la sua forma viene ad essere modificata rispetto a quella della f. e. m. impressa, risultando quindi al telefono un suono distorto.

Se invece la resistenza e quindi lo smorzamento del circuito è elevato, la corrente destata in esso ha bensì una ampiezza minore ma segue

fedelmente e senza ritardo alcuno le variazioni della f. e. m. impressa fornendo quindi una migliore riproduzione.

La fig. 430 ha appunto lo scopo di mostrare questo comportamento caratteristico.

Praticamente si è trovato che il decremento tanto del circuito di trasmissione che di quello di ricezione deve essere più elevato del massimo decremento che può raggiungere la f. e. m. modulata.

Ciò è molto importante nel caso di trasmissione con onde lunghe: per alte frequenze invece ben difficilmente a mezzo della parola e della musica si riesce a dare alla f. e. m. di modulazione un decremento maggiore di quello del circuito (che è generalmente elevato).

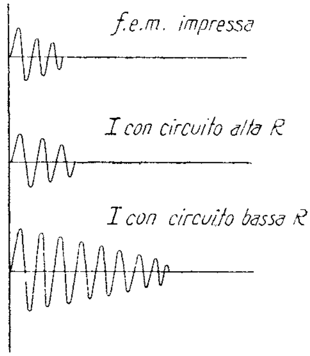


Fig. 430.

Tuttavia quando si ricorre all' effetto reazione può spesso accadere che la resistenza del circuito venga tanto diminuita da portare il funzionamento appunto in queste condizioni rendendo quindi distorta la riproduzione.

Ecco perchè nella comune ricezione telefonica si nota distorsione quando l' accoppiamento reattivo è troppo elevato.

I sistemi di modulazione. — Fra i molti artifici usati per modulare la corrente oscillante generata da una lampada elettronica, soltanto tre hanno dato risultati pratici degni di nota.

Abbiamo già esaminato il più semplice, cioè quello basato su un assorbimento più o meno grande della corrente da irradiare realizzato per esempio inserendo direttamente sull' antenna un microfono. Però sia perchè la resistenza di questo non può variare entro limiti abbastanza vasti, sia perchè la potenza che lo attraversa deve essere molto piccola per evitare il riscaldamento, il suo uso non può convenire che per potenze infime e quando la distanza da coprire sia molto piccola. Nel caso delle onde corte poi la variazione di resistenza determina anche un cambiamento di lunghezza d' onda che rende difficile la ricezione. In questo stesso capitolo esamineremo le eventuali applicazioni e modifiche di questo tipo di modulazione. Si è molto usato per il passato e si usa più raramente ora un altro sistema di assorbimento che permette di controllare una potenza maggiore senza dover tuttavia ricorrere a microfoni speciali; si ricorre ancora all' audion che si inserisce in modo che lo spazio placca

filamento si trovi in serie o parallelo sul circuito d' aereo. Imprimendo sulla griglia della lampada una corrente variabile qualunque, si hanno corrispondenti variazioni della resistenza placca filamento e quindi della corrente oscillante.

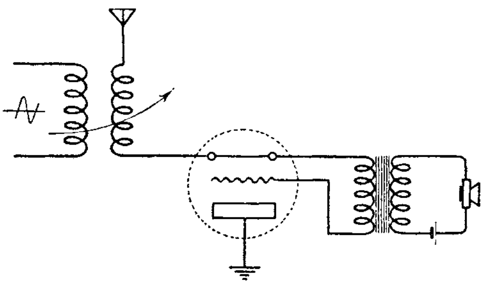


Fig. 431.

La fig. 431 mostra chiaramente questo sistema dove evidentemente la modulazione si effettua soltanto durante un semi-periodo, data la conduttività unilaterale dell' audion. Desiderando il funzionamento durante ambedue i semi-periodi basta collegare due audions in opposizione.

Sebbene sia possibile ottenere con questo artificio una buona modulazione esso è stato quasi completamente abbandonato specialmente per il consumo inutile di energia che richiede.

Il secondo sistema consiste nel variare direttamente la tensione di griglia della valvola oscillante sotto l' azione della corrente variabile prodotta dal microfono (fig. 432).

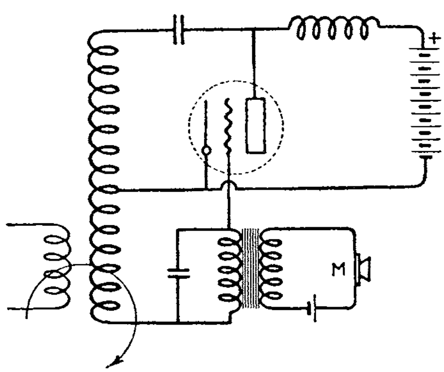


Fig. 432.

Quando il microfono non è influenzato la corrente d'antenna è costante. Se invece una vibrazione sonora lo colpisce, una corrente variabile è generata nel primario del trasformatore. Questa corrente induce nel secondario e quindi nel circuito di griglia una f. e. m. variabile alla stessa guisa.

Questo circuito è allora sede tanto della componente ad *AF* che serve ad eccitare la griglia quanto della componente a *BF* prodotta dal microfono. Questa fa si che la tensione di griglia aumenti o diminuisca intorno al suo valore normale (cioè a microfono non influenzato). Questa variazione di griglia si riproduce esaltata nel circuito placca e quindi la corrente oscillante è obbligata a variare d' ampiezza. Anche in questo caso la potenza che è possibile controllare non è molto grande e la percentuale di modulazione non deve essere eccessiva per evitare

la distorsione. È molto importante regolare il potenziale continuo sulla griglia fino ad ottenere la migliore riproduzione: ma in questa regolazione molto spesso si raggiunge una tensione per la quale basta la più piccola variazione per fare cessare le oscillazioni. La modulazione è in questo caso molto profonda ma altrettanto impura, e il funzionamento molto difficile a mantenere. Con cura e pazienza si possono tuttavia regolare le cose in modo da tenersi sufficientemente distanti da questo punto e da avere una perfetta riproduzione. Allora però la percentuale di modulazione è necessariamente ridotta. Per questo il sistema non conviene per potenze elevate e quando si desidera il massimo rendimento: tuttavia per potenze piccole e con le necessarie precauzioni (piccola percentuale di modulazione, regolazione del potenziale di griglia) i risultati ottenuti sono molto buoni. Esistono altri sistemi di modulazione su griglia che accenneremo in seguito.

Siamo giunti alfine al metodo che la pratica ha riconosciuto come il più efficiente e il più perfetto e cioè al metodo della modulazione ottenuta variando il valore della corrente di placca della lampada oscillatrice. Questo sistema dovuto all' Heising è senza dubbio il migliore e quindi lo studieremo con maggior cura, affinchè il lettore possa farsi un esatto concetto delle particolarità del funzionamento.

Imprimendo nella placca di una lampada oscillatrice, invece di una corrente perfettamente continua, una corrente comunque variabile, la corrente oscillante prodotta risente di questo fatto e segue fedelmente queste variazioni. In altri termini, essa ne rimane *modulata*.

Questo fatto è ben noto praticamente quando si alimenta la placca con corrente alternata o con corrente raddrizzata e male filtrata e viene anche utilizzato per produrre onde modulate (e quindi ricevibili con detector non oscillante) quando l' emissione normale è assolutamente persistente. All' uopo si inserisce sul circuito di placca un interruttore qualunque che lo interrompa varie volte al secondo. (Di qui il nome di *interrupted continous waves*, ICW degli inglesi). Praticamente l' interruttore è costituito da un disco metallico dentato messo in rapida rotazione da un motore elettrico (v. fig. 433).

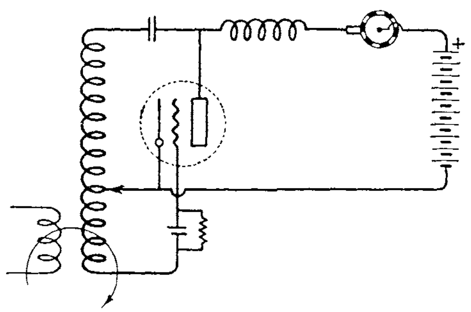


Fig. 433.

Ora se noi aggiustassimo le cose in modo che la corrente di placca

anzichè a mezzo di un interruttore fosse variata con un microfono, avremmo una corrente oscillante modulata che segue fedelmente queste variazioni. Le figg. 434-435 mostrano due realizzazioni pratiche di questo sistema e che si prestano assai bene quando la potenza all'emissione è *piccolissima.*

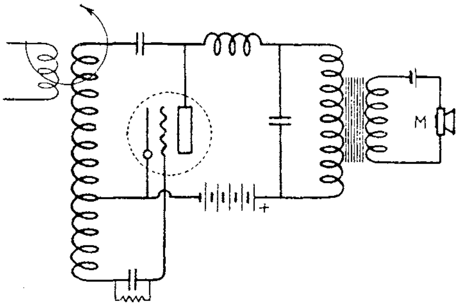


Fig. 434.

Per potenze maggiori e fino alle più elevate occorre cercare altri sistemi che permettano una variazione entro limiti più vasti della corrente placca.

È appunto questo problema che è stato risolto col sistema dell' Heising o a *corrente costante.*

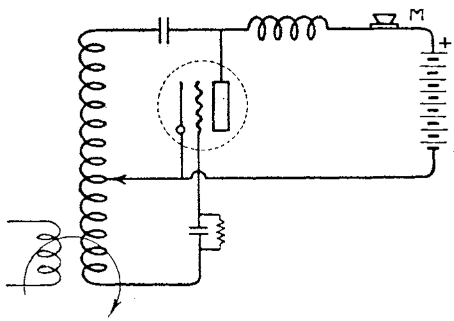


Fig. 435.

Esso richiede due lampade (o due gruppi di lampade) che hanno funzioni ben distinte.

Una di queste è l' *oscillatrice* (vedi figura 436) di funzioni ben note, mentre l'altra, detta *modulatrice,* ha il compito di variare alla frequenza di modulazione la corrente di placca.

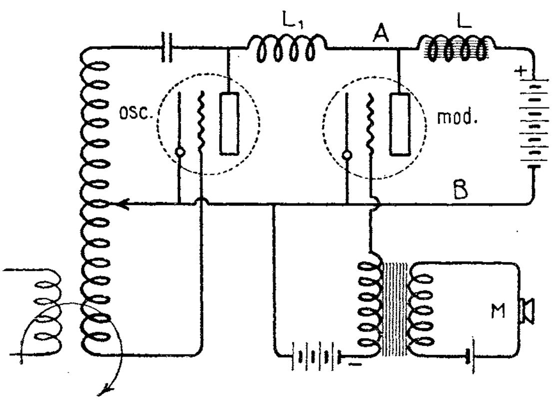


Fig. 436.

Essa ha le funzioni di una resistenza variabile comandata dal circuito microfonico che è sulla sua griglia.

A microfono inattivo essa ha un determinato valore e così pure la corrente d'aereo.

Le correnti microfoniche impresse sulla griglia cambiano la resistenza e quindi il valore della corrente di placca della lampada modulatrice. La batteria di placca dovrebbe for-

nire questa corrente, variabile alla frequenza di modulazione, ma per la inserzione della induttanza L, che presenta un' impedenza grandissima per questa frequenza, si produce una forte caduta di potenziale a BF attraverso ad L, così che la tensione fra i punti A e B ne risulta variata alla frequenza di modulazione. Più semplicemente si possono paragonare le due lampade oscillatrice e modulatrice, a due resistenze, delle quali una fissa ed una variabile rispettivamente.

È evidente che finchè queste due resistenze sono collegate soltanto in parallelo ad una sorgente di elettricità, qualunque variazione dell' una non sarà menomamente risentita dall' altra. Ma se sul circuito comune inseriamo una terza resistenza, abbiamo che la corrente totale non può superare un massimo determinato e quindi qualunque cambiamento della resistenza variabile è risentito in senso contrario dalla fissa.

Compito dell' induttanza L è quindi di mantenere il più possibile costante la corrente erogata dalla batteria di placca. In questo modo quando la corrente della lampada modulatrice è variata a mezzo del microfono, quella della lampada oscillatrice è obbligata a variare allo stesso modo e evidentemente con uno spostamento di fase di 180 gradi.

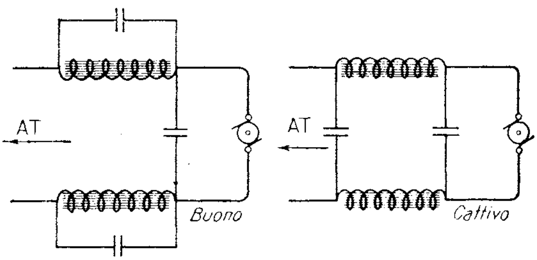


Fig. 437.

Più precisamente il compito di L è di opporre una impedenza infinita alle correnti a frequenza di modulazione, e in questo modo soddisfa a due requisiti: permettere la variazione fra i punti A e B del potenziale della corrente a BF e impedire il passaggio di questa attraverso alla sorgente di alimentazione.

Sotto questo secondo punto di vista è preferibile quando si usano filtri per livellare la corrente di alimentazione di non inserire grandi capacità in parallelo (v. fig. 437).

Nella elementare spiegazione del funzionamento di questo sistema di modulazione, abbiamo supposto che la impedenza di L sia infinita, e che la resistenza rappresentata dall' oscillatore sia una *resistenza pura.* Ambedue questi fatti non si avverano in pratica.

L' induttanza L è imperfetta, perchè la sua reattanza non può essere infinita, perchè la resistenza ohmica dell' avvolgimento si oppone al passaggio della CC. e infine per le perdite intrinseche nell' avvolgimento e nel ferro.

La resistenza ohmica, che alle volte è molto elevata, limita il valore del potenziale efficace sulle placche, e quindi rappresenta una pura perdita.

L'induttanza L, non avendo una reattanza infinita, è quindi attraversata da correnti a bassa frequenza. Si ha cioè un secondo circuito in parallelo all'oscillatore che assorbe energia dal modulatore: questo quindi deve fornire un'energia maggiore di quella necessaria, e ciò rappresenta una seconda perdita.

Inoltre si viene in questo modo a introdurre una resistenza induttiva nel circuito d'utilizzazione. Abbiamo infatti accennato come, in pratica ben difficilmente la resistenza rappresentata dall'oscillatore sia pura. In primo luogo essendo quella di una lampada elettronica *il suo valore varia coll'ampiezza della corrente*, ma questo può generalmente trascurarsi perchè la corrente nel circuito è la stessa tanto se la tensione raggiunge un determinato valore aumentando o diminuendo. Invece se la resistenza del circuito d'utilizzazione è induttiva la corrente per una data tensione *in aumento* è differente che per la stessa tensione in diminuzione. La riproduzione non è più esatta e il rendimento diminuito, quindi è necessario fare sì che la resistenza d'utilizzazione sia la più pura possibile. Ora, come il circuito modulatore può aggiungere un carico induttivo, lo stesso può accadere per quello oscillante. Nel circuito della fig. 436 per esempio, abbiamo una induttanza L_1 che serve ad impedire il ritorno della corrente AF. Ora finchè le due frequenze (alta e bassa) sono molto differenti, l'impedenza rappresentata da L_1 alla frequenza di modulazione è piccolissima e quindi trascurabile: ma se esse sono relativamente vicine, il suo effetto diventa preponderante e la purezza della riproduzione compromessa.

Questo è uno dei più importanti ostacoli alla realizzazione di trasmissioni modulate (musica e parola) con onde molto lunghe appunto per la relativa vicinanza fra la frequenza di modulazione e quella modulata. Nel caso della trasmissione con onde corte tutti questi problemi richiedono precauzioni minori appunto perchè la differenza fra le due frequenze è molto grande.

Intensità dei segnali modulati. — La potenza di una stazione telefonica dovrebbe essere espressa dalla *variazione* nella potenza d'antenna per una determinata vibrazione che colpisca il microfono.

Infatti il valore medio della corrente irradiata non può fornirci nessun dato al riguardo, poichè l'intensità dei segnali ricevuti dipende da un numero vario di fattori i più importanti dei quali sono la percentuale di modulazione e la legge secondo la quale funziona il rivelatore. Ab-

biamo già visto che la corrente fornita dall'audion è direttamente proporzionale al quadrato della f. e. m. impressa. Ora se noi trasmettessimo un suono assolutamente puro (p. e. una frequenza sinusoidale) avremmo al ricevitore un suono distorto appunto perchè la corrente raddrizzata è proporzionalmente più intensa per un segnale forte di quanto non lo sia per un segnale debole.

Fortunatamente però il peculiare funzionamento della lampada elettronica limita questo difetto e lo rende risolvibile. Infatti qualunque sia la tensione che possa essere impressa sulla lampada, la corrente che la attraversa non può mai eccedere quella di saturazione (determinata dalla emissione del filamento). Avvicinandoci a questo punto la corrente non è più proporzionale al quadrato della tensione ma ad un valore, tanto minore quanto più gli è prossima. Quindi per una tensione alta impressa dal modulatore sull'oscillatore, la corrente d'antenna è, *proporzionalmente*, minore che per una tensione bassa. L'effetto è quindi perfettamente opposto di quello che si nota al rivelatore, così che è possibile aggiustare le cose in modo che le due distorsioni si annullino e la riproduzione risulti pura.

Ciò appunto si realizza in pratica e molto spesso inconsciamente; infatti non si sa generalmente, che tutti i regolaggi necessari ad ottenere una perfetta trasmissione esente il più possibile da distorsione, tendono invece a produrre questa in identica ed opposta maniera al trasmettitore e al ricevitore.

Pratica e costruzioni. — Tralasciando tutto ciò che riguarda la generazione delle oscillazioni (v. cap. 6°), esaminiamo i particolari di indole pratica e costruttiva che si prestano a dare un buon rendimento della modulazione.

Abbiamo già visto come spesso convenga, quando l'emissione è persistente e pura, poterla modulare a frequenza musicale, sia per permetterne la ricezione con detector non oscillante sia per renderla più stabile.

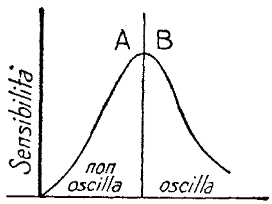


Fig. 438.

Ciò nel campo delle onde corte è alle volte molto importante specialmente quando il ricevitore si trova in una zona molto disturbata. E ciò in primo luogo perchè un rivelatore a reazione portato vicinissimo al punto di oscillazione, ha una sensibilità pressochè massima, col vantaggio però di risentire molto meno il bruscio e i disturbi atmosferici. Ciò può essere rappresentato colla curva della fig. 438, che indica la

sensibilità in funzione dell'accoppiamento reattivo. Lo stesso si dica per il ricevitore a super-eterodina che presenta per onde modulate una sensibilità straordinaria ed ha il vantaggio di non richiedere una seconda eterodina per la ricezione (v. pag. 276). L'altro vantaggio è che la emissione risulta *leggermente* meno sintonica: ora se questo può essere un danno quando si usano onde lunghe, non lo è affatto per le corte, poichè la minor sintonia riesce a rendere trascurabili le immancabili piccole variazioni d'onda così dannose alla chiarezza della ricezione. In un gruppo emittente ad onde persistenti *pure*, la possibilità di modulazione è un accessorio utilissimo e molto consigliabile.

I migliori risultati di purezza nella nota si ottengono con un vero e proprio sistema di modulazione come quelli già esaminati nel caso della trasmissione della parola e della musica, ma ciò è consigliabile soltanto quando la stazione è già equipaggiata per trasmissione telefonica. In questo caso basta sostituire il microfono con un vibratore (cicala), capace di dare una nota musicale costante e pura.

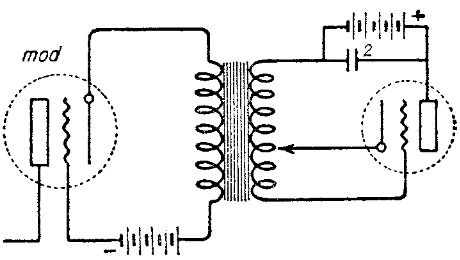


Fig. 439.

La scintilla ai contatti deve essere eliminata con l'aiuto di un condensatore di qualche microfarad e di una resistenza non induttiva in parallelo sui contatti. Si può però sostituire alla cicala il vibratore rotante che descriveremo in seguito o anche adottare il sistema della figura 439, che usa come vibratore un audion. In questo caso occorre però modificare il trasformatore d'entrata.

Conviene generalmente un secondario di 20 mila spire (del tipo solito da *BF*) e un primario con presa al centro di 30 mila spire.

Regolando l'accensione e la tensione placca si trova la nota più conveniente che può del resto essere ancora modificata inserendo condensatori in parallelo al primario stesso.

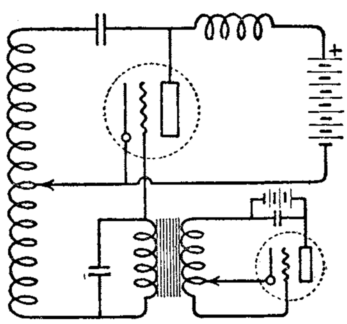


Fig. 440.

Quando si dispone di una sola lampada oscillatrice e finchè la potenza è piccola, gli stessi sistemi possono usarsi per eccitare direttamente la griglia di questa. Le figure 440 e 441 mostrano i collegamenti necessari.

Allo stesso scopo risponde il sistema della fig. 442 che entra nella categoria dei vibratori rotativi. Esso è formato semplicemente da una

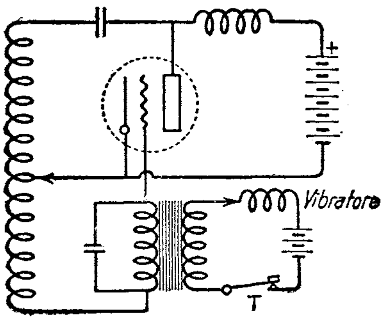


Fig. 441.

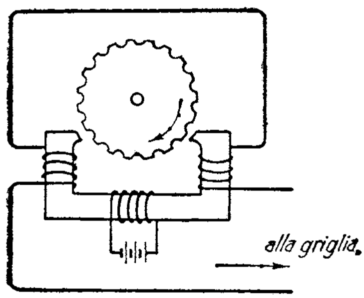


Fig. 442.

ruota di ferro, sagomata come al disegno, calettata su un motorino che la può mettere in rapida rotazione.

I denti passano vicinissimi ad un'armatura che è permanentemente magnetizzata a mezzo di un avvolgimento *A* alimentato con corrente continua. Sulle due branche sono avvolte due bobine di filo sottile collegate in serie. Queste sono infine inserite fra griglia e filamento in serie colla resistenza stessa di griglia.

Quando la ruota gira, l'avvolgimento è sede di correnti indotte di frequenza proporzionale al numero dei denti e dei giri, la tensione media di griglia varia e ne risulta al solito la modulazione dell'emissione. La qualità della nota ottenuta con questo sistema è molto buona.

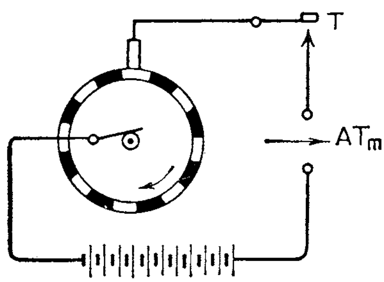


Fig. 443.

Finchè la potenza è piccola tutti questi sistemi si prestano a dare ottimi risultati. Oltre i 50 watts è bene ricorrere alla modulazione sul circuito di placca.

Evidentemente una modulazione del cento per cento è preferibile, quindi il sistema più pratico è quello di interrompere a frequenza musicale la corrente di placca.

All'uopo si deve ricorrere ad un interruttore rotativo e si avrà grande cura di evitare o ridurre al minimo lo scintillamento. L'interruttore è formato da un disco metallico che porta alla periferia tanti denti (v. fig. 443). Su questi striscia una piccola spazzola metallica. Se l'interruzione non

si eseguisce sul lato del filamento e quindi *messo a terra* il disco dovrà essere isolato dall'albero del motore.

Con questo sistema si possono modulare notevoli potenze con ottimi risultati purchè si badi di rendere minimo lo scintillamento e di mantenere in buone condizioni i contatti.

Veniamo alfine a parlare della modulazione telefonica propriamente detta.

Per potenze molto piccole è generalmente preferibile il sistema ad assorbimento. Ne abbiamo già esaminato le caratteristiche, quindi ben poco ci resta da dire.

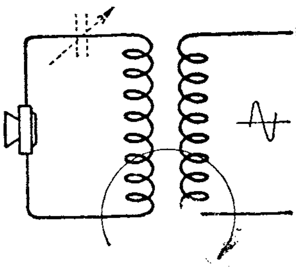


Fig. 444.

Praticamente si dimostra, fra gli altri, migliore il circuito della fig. 444. Qui anzichè inserire il microfono direttamente sul circuito oscillante, lo si accoppia a questo induttivamente. Potendo disporre di un condensatore variabile (punteggiato in figura), se ne può ancora migliorare la efficacia. All'uopo si costruisce un vero e proprio circuito in risonanza colla frequenza emessa e lo si accoppia al circuito generatore fino ad ottenere l'assorbimento di una parte della corrente irradiata; quindi si regola l'accoppiamento o l'accordo fino ad ottenere la massima variazione di corrente sotto l'azione del microfono.

Prescindendo dal rendimento ridotto, la potenza massima governabile con questo sistema dipende dall'intensità di corrente che può attraversare il microfono senza danneggiarlo. Data la sua semplicità, esso può essere sempre almeno tentato prima di ricorrere ad altri sistemi.

Esaminiamo ora la modulazione sul circuito di griglia. Abbiamo già visto perchè essa non deve essere troppo intensa e come la regolazione per ottenere una riproduzione perfetta sia spesso laboriosa. La prima cosa occorrente è il trasformatore microfonico. Questo deve avere un rapporto elevato (1 a 50 per esempio) *ed essere a circuito magnetico aperto*. Una bobina da induzione, come p. es. quelle adoperate nelle automobili, è ottima sotto tutti i rapporti.

Per evitare distorsioni nella riproduzione occorre shuntare il secondario con una resistenza *non induttiva R* di parecchie migliaia di ohms. (Essa ha lo scopo di mantenere l'impedenza del circuito stesso pressochè costante, in modo che la tensione indotta non risenta delle variazioni dell'impedenza griglia-filamento e venga quindi modificata).

D'altra parte per permettere il libero passaggio delle correnti ad

alta frequenza è indispensabile un condensatore di adatta capacità, pure in parallelo sul secondario. Nella maggior parte dei casi pratici una capacità di 1 a 2 millesimi di μf. è più che sufficiente. Infine è quasi sempre conveniente potere regolare il potenziale negativo costante di griglia e all'uopo si possono inserire alcune pile (v. fig. 445).

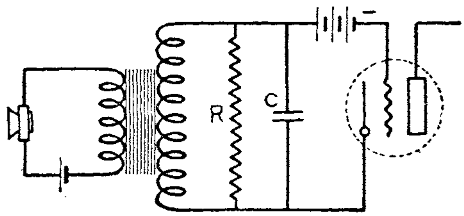


Fig. 445.

Per potenze maggiori può convenire il sistema seguente:

Si realizza il circuito della fig. 446, dove la tensione sulla griglia della lampada oscillatrice è variata a mezzo della resistenza placca filamento di una lampada elettronica.

Sul circuito griglia di questa viene poi a sua volta inserito il trasformatore microfonico. È indispensabile curare in modo speciale che la corrente ad *AF* non possa passare attraverso alla valvola modulatrice, quindi occorre inserire alcune bobine di impedenza nei punti necessari (*L* e *L*, fig. 446). Il valore di queste dipende dalla lunghezza dell'onda usata.

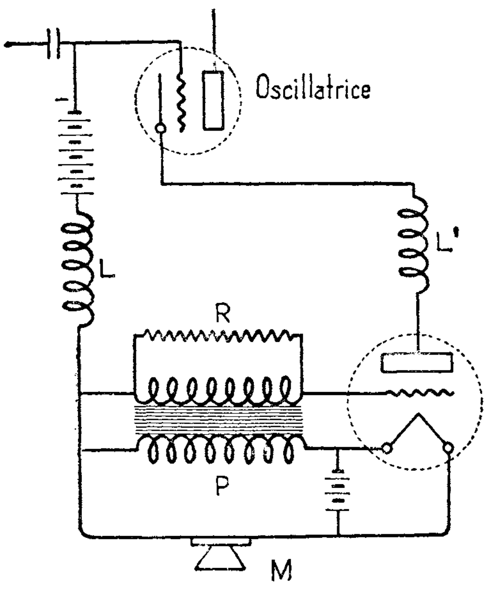


Fig. 446.

Generalmente si può migliorare il rendimento e la qualità della riproduzione mantenendo la griglia al potenziale negativo più adatto a mezzo della solita batteria.

La percentuale di modulazione in tutti i sistemi *su griglia* non deve essere elevata sia per mantenere il rendimento della lampada come generatrice nelle migliori condizioni, sia e sopratutto per evitare la distorsione. All'uopo si regolerà il potenziale della batteria del microfono o quello normale di griglia.

La modulazione sul circuito placca può ottenersi in vari modi.

La più semplice realizzazione è rappresentata dalla fig. 446 *a*. Il trasformatore è una delle solite bobine d' induzione shuntata da un condensatore al secondario. In questo modo è possibile costruire un trasmettitore di dimensioni perfettamente tascabili. La riproduzione della voce non è tuttavia perfetta e piuttosto gracidante, poichè soltanto i semiperiodi dello stesso nome fanno funzionare l' oscillatore. Per ovviare a questo difetto si aggiunge al trasformatore una batteria che mantenga il triodo in continua oscillazione. Con un centinaio di Volta ed una lampada comune da ricezione si può calcolare un funzionamento *certo e ottimo* per una decina di chilometri. Quando la potenza aumenta, è indispensabile ricorrere al modulatore separato (fig. 446 *b*). La chiarezza dei segnali e il rendimento totale diminuisce sia quando la energia di modulazione è troppo intensa che allorchè essa è troppo piccola, e più precisamente si realizzano le migliori condizioni quando le potenze rispettivamente assorbite dall' oscillatore e dal modulatore sono uguali. Quindi si adopera lo stesso tipo di triodo per ambedue gli usi.

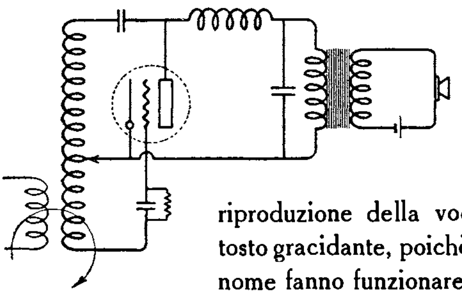


Fig. 446 *a*.

Per potenze fino a 50 watts di consumo il microfono può essere inserito al solito sul circuito di griglia della lampada modulatrice. È indispensabile però che il potenziale normale di questa sia mantenuto il *più possibile negativo* a mezzo di un' adatta batteria di pile.

La bobina di impedenza L' ha una parte molto importante nel funzionamento e deve essere costruita con cura.

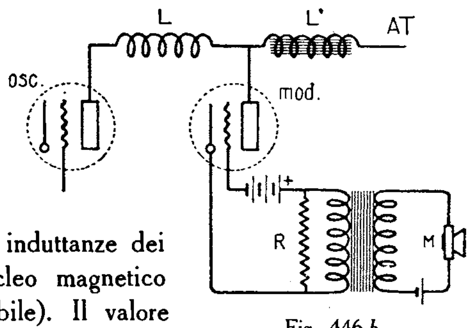


Fig. 446 *b*.

Si adotterà per la sua realizzazione lo stesso sistema delle induttanze dei filtri descritti a pag. 416 (nucleo magnetico chiuso con una fessura regolabile). Il valore dell' induttanza può scegliersi fra i 4 e 6 Henry utilizzando i valori della tabella di pag. 417. La sezionatura dell' avvolgimento è qui doppiamente importante, poichè serve a diminuire la capacità distribuita della bobina che potrebbe offrire un passaggio alle correnti a bassa frequenza. A montaggio eseguito durante le prove di modulazione si regola la fessura del nucleo fino ad ottenere i migliori risultati. Fra i pochi svantaggi che presenta questo sistema

placca vi è quello di determinare un'emissione non troppo sintonica. Infatti, per il particolare comportamento dell'audion oscillatore, ogni variazione della corrente placca determina una variazione della frequenza prodotta: quindi essendo questo metodo basato appunto sulle variazioni della corrente placca, queste fanno sì che la frequenza dell'emissione non sia più unica ma si estenda dall'una e dall'altra parte di quella irradiata a microfono inattivo (1).

Ciò può essere dannoso quando si abbiano molti ricevitori nelle vicinanze e sintonizzati su frequenze poco differenti.

Per rimediare a ciò si è ricorso al sistema di eccitazione separata della griglia dell'oscillatore mantenendo la modulazione sulla placca di questo. Ora, come vedremo nell'ultimo capitolo, il sistema dell'eccitazione separata o obbligata, ha il grande vantaggio di mantenere perfettamente costante la frequenza generata dall'oscillatore anche se le caratteristiche del circuito di questo vengono variate.

Quindi la variazione della corrente placca non può più far minimamente variare la frequenza dell'emissione e il difetto superato nel modo migliore.

Il circuito microfonico. — Il circuito microfonico ha il compito di trasformare la vibrazione sonora che colpisce il microfono in corrente alternata di ampiezza sufficiente ad eccitare la griglia della lampada modulatrice e oscillatrice.

Vari fattori debbono essere soddisfatti affinchè il circuito operi nelle migliori condizioni:

« Il microfono deve essere costruito in modo che il movimento della sua membrana sia assolutamente proporzionale all'ampiezza della vibrazione sonora che lo colpisce.

« La resistenza del microfono e l'impedenza del primario del trasformatore debbono permettere una variazione della corrente continua assolutamente proporzionale al movimento della membrana.

« Le variazioni del potenziale alternativo al secondario del trasformatore (e quindi da imprimersi sulla griglia) devono essere assolutamente proporzionali a quelle della corrente continua al primario.

« Le variazioni della corrente di placca della lampada modulatrice debbono essere assolutamente proporzionali a quelle del potenziale di griglia ».

(1) Che questo sia uno svantaggio non si può proprio dire, anzi specialmente usando onde corte può molto spesso mutarsi in vantaggio non indifferente. Tuttavia usando onde molte corte si è trovato che minime variazioni di frequenze sono sufficienti a rendere inintelligibile la modulazione (v. cap. 1°).

È tendenza moderna di usare microfoni capaci di controllare correnti molto piccole e portare queste all' ampiezza necessaria mediante amplificazione. In questo caso abbiamo una nuova necessità che cioè:

« Le variazioni della corrente di placca uscente dall' ultima lampada dell' amplificatore debbono essere assolutamente proporzionali a quelle del potenziale impresso sulla prima griglia ».

Il microfono. — Per soddisfare a queste esigenze occorre curare in modo speciale il microfono stesso e il sistema d' amplificazione.

Si sono escogitati moltissimi tipi di microfono per potere rispondere al primo dei requisiti che abbiamo esposti e il commercio ne dà attualmente dei veramente buoni.

Quello a polvere di carbone più o meno modificato, è ancora il più diffuso. La corrente che esso può governare va da una frazione molto piccola di watts a 3-4 watts e non può essere aumentata poichè si sviluppano degli archi fra i granelli, il microfono si riscalda e la riproduzione è resa impossibile. Per una buona riproduzione occorre mantenere la tensione continua al microfono *inferiore a quella normale* e prescritta dal costruttore. Ciò molto spesso, determinando un rendimento minore per la minore eccitazione di griglia, non viene considerato, ed anzi si preferisce portare la corrente al massimo tollerabile.

In queste condizioni si verifica *certamente* distorsione dei suoni. Al riguardo è bene ricordare che in una stazione telefonica che funzioni bene non deve essere necessario, per ottenere la massima modulazione, o di urlare o di parlare in modo anormale, ma bensì questo deve già verificarsi parlando con voce naturale. Di qui la necessità, quando la potenza non è molto piccola, dell' amplificazione.

I microfoni usati nella telefonia ordinaria, danno, se in condizioni normali, un buon rendimento ed una fedele riproduzione.

Sono noti generalmente i due tipi: quello a capsula, con la membrana di carbone e quello così detto solid-back. Il primo tipo, più economico, dà risultati pressochè analoghi al secondo ma si presta meno ad essere sovracaricato per la forte distorsione che in questo modo si determina. La tensione massima non deve superare mai i 3 volts, nei tipi correnti, ma una riproduzione di gran lunga migliore si otterrà usandone soltanto due o anche meno.

La capsula può essere tenuta in mano durante la trasmissione, per evitare la deformazione che risulterebbe se essa fosse fissata ad una massa solida. Volendo evitare questo è possibile coll' aiuto di tre piccoli elastici di gomma e di un anello metallico realizzare un montaggio

fisso che non ha nulla da invidiare ai più elaborati tipi del commercio (vedi fig. 447).

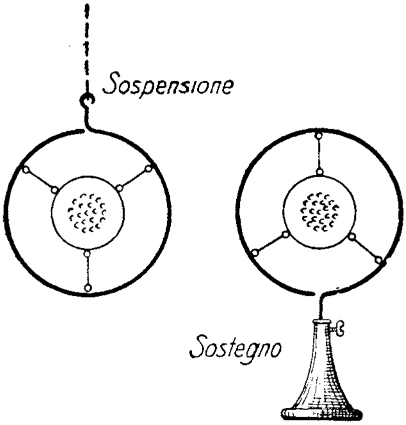


Fig. 447

All' uopo si dà la forma della figura ad un filo di ferro di 5 mm.; si fora in tre punti, verso il bordo estremo, la capsula microfonica e coll' aiuto di piccoli elastici si sistema questa nel centro dell'anello. Questo può essere poi fissato ad un piede, o sospeso all' altezza necessaria.

I microfoni del tipo solid-back sono più pesanti, quindi si prestano meno a questa sistemazione. Essi hanno il vantaggio di una grande purezza di riproduzione. Si montano generalmente su un sostegno che si tiene in mano alla trasmissione o si sospendono all' altezza necessaria usando due fili molto flessibili (fig. 448).

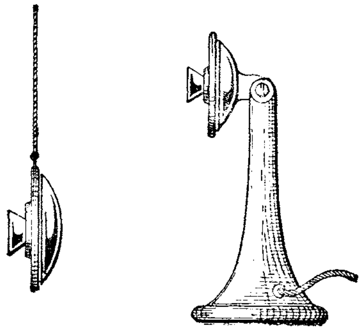


Fig. 448.

Esistono infine tipi speciali in custodia metallica (tipo Western), che sono pure sospesi elasticamente. Questo tipo di microfono si differenzia dagli altri per varie caratteristiche. Esso è costituito da una lamina centrale di metallo nobile (oro, tungsteno ecc.) estremamente sottile e tesa il massimo possibile uniformemente in tutte le direzioni. Da una parte e dall' altra di questa lamina vengono applicate le polveri conduttrici destinate a variare la resistenza sotto le azioni sonore. Questa costruzione così semplice richiede delle operazioni meccaniche delicatissime, specialmente nella tensione della membrana, quindi il costo finale ne risulta molto elevato. La fig. 449 mostra come sia possibile collegare due capsule in modo *diffe-*

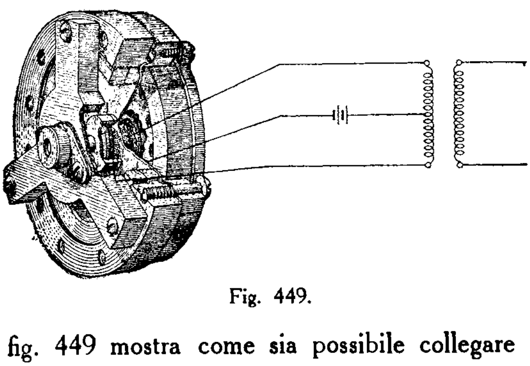


Fig. 449.

renziale, così che eventuali distorsioni determinate dall'una siano compensate dall'altra che lavora in opposizione di fase. Si ottiene in questo modo un'estrema purezza della riproduzione in tutta la gamma delle frequenze sonore.

È impossibile passare in rassegna tutti i tipi di microfoni che hanno dato buon esito pratico: ricordiamo soltanto fra gli altri quello *a condensatore,* quello *a scarica* e quello *magnetico* detto anche Siemens che danno una buonissima riproduzione specialmente nel caso della trasmissione della musica, senza tuttavia descriverli perchè molto costosi e non adatti ad impianti di piccola potenza e d'esperimento.

Un'applicazione molto semplice e alla portata di tutti è quella dell'uso di un comune telefono come trasmettitore.

La corrente prodotta in questo modo è minima e richiede una forte amplificazione per potere essere impressa sulla griglia modulatrice, ma d'altra parte presenta una purezza singolare. Inoltre essendo questo trasmettitore molto più sensibile a vibrazioni sonore vicine anzichè lontane si presta in modo speciale per essere usato in luoghi molto rumurosi (areoplani, treni ecc.).

L'amplificatore microfonico. — L'amplificatore microfonico è un amplificatore a bassa frequenza del tipo già esaminato (v. parte 2ª).

Più particolarmente esso può far parte dei cosidetti « amplificatori di potenza » usati nella comune pratica di ricezione.

Spesso il numero degli stadi di amplificazione necessari è molto grande, quindi bisogna ricorrere a speciali artifici e precauzioni per evitare la distorsione.

Nel caso di piccole potenze, l'amplificatore è molto utile perchè permette l'uso di una energia minore al microfono con una modulazione tuttavia profonda e pura.

In questo caso (50-100 watts) la realizzazione pratica dell'insieme è molto semplice. Si sceglie un buon trasformatore *BF* rapporto $^1/_3$ $^1/_4$) e lo si inserisce come alla fig. 450. Il suo avvolgimento sarà preferibilmente di filo isolato in seta anzichè smaltato, per aumentarne la durata.

La lampada amplificatrice può essere del tipo da ricezione con accensione e tensione placca un po' maggiori del normale, ma è più consigliabile una piccola lampada trasmettente da 2-5 watts come quelle usate negli amplificatori di potenza. La tensione placca necessaria può essere derivata dalla sorgente principale attraverso ad una adatta resistenza. È indispensabile potere portare le griglie al giusto potenziale negativo, quindi occorre una piccola batteria di pile con prese intermedie.

Esaminando il circuito della fig. 450 abbiamo da prima il microfono col relativo trasformatore a rapporto elevato (v. pag. 436) il secondario del quale è inserito sul circuito griglia della lampada amplificatrice. Esso porta in parallelo una elevata resistenza *R* (da 05 a 1 megaohm) ed è collegato alla batteria di griglia con una presa variabile.

Viene quindi il trasformatore intermedio, il secondario del quale è pure shuntato da una resistenza e fa capo alla batteria di griglia. Il

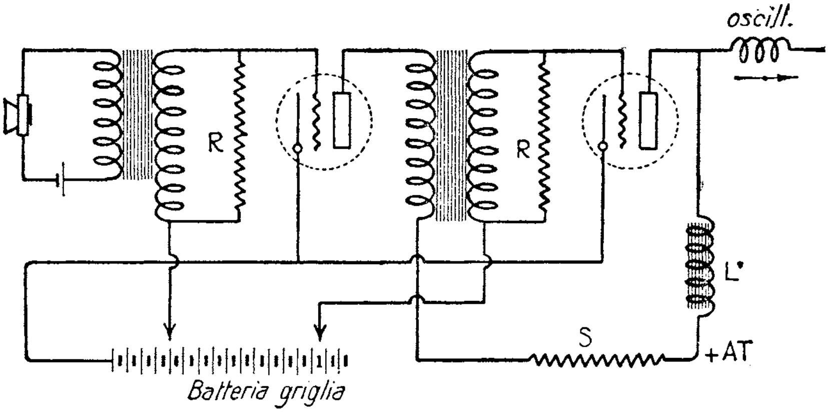


Fig. 450.

primario invece è inserito fra la placca della lampada amplificatrice e la sorgente principale di *AT* attraverso alla resistenza riduttrice *S*. La polarità della batteria del microfono va scelta durante il funzionamento assieme ai migliori valori della tensione negativa sulle griglie.

Per potenze maggiori oppure quando si desidera diminuire ancora la sensibilità del microfono occorre aumentare il numero dei piani di amplificazione.

Usando come traslatori fra un piano e l'altro dei trasformatori non è mai consigliabile un numero di questi maggiore di *due.*

Si preferisce però limitare questo numero a un solo stadio e ricorrere quindi alla traslazione a mezzo di capacità e resistenze. Questa dà un'amplificazione molto minore, ma ha il grande vantaggio di essere pressochè aperiodica e quindi di permettere un numero molto grande di stadi senza alcuna distorsione (v. pag. 130).

Per la trasmissione della parola può servire egregiamente il sistema della figura anche per potenze notevoli. Esso non è altro che un amplificatore a resistenze e capacità.

Queste possono con vantaggio essere sostituite con induttanze appropriate (v. capitolo 6°); occorre però sempre inserire una resistenza per

limitare la tensione impressa sui triodi minori, a meno di non usare sorgenti separate o disporre di prese intermedie.

Cominciando dal microfono, abbiamo il solito trasformatore shuntato da resistenze al secondario che alimenta una prima lampada o alcune piccole lampade in parallelo. La placca è collegata alla sorgente comune di alta tensione a mezzo della resistenza R_1 e alla griglia successiva a mezzo del condensatore appropriato C. Questa seconda lampada può avere una potenza fino a 10 volte quella della prima ed è alimentata attraverso la resistenza R_3. Le resistenze R_2 ed R_4 in serie con batterie adatte servono ad imprimere la necessaria tensione negativa sulle griglie. Infine attraverso il condensatore C tutta l'energia amplificata è impressa sulla griglia del modulatore potendo in questo modo governare una potenza da 10 a 20 volte maggiore.

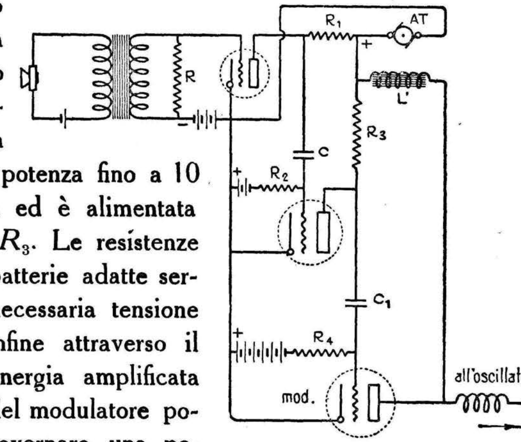
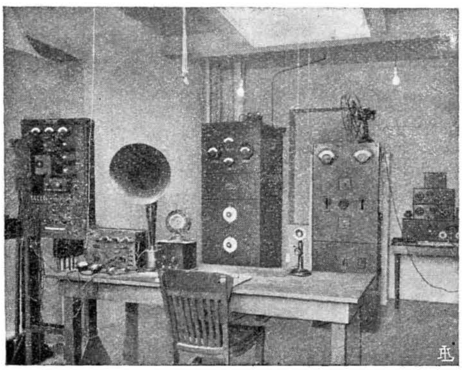


Fig. 451.

Quando però si desidera la trasmissione musicale con grandi potenze (1 kw. e oltre), o quando il microfono è lontano dalla sorgente sonora o la potenza che esso può regolare è minima, un'amplificazione come quella esposta sarebbe ancora insufficiente.


Fig. 452.

Si può allora far precedere il tutto da un buon amplificatore a resistenze a tre o quattro stadi, utilizzando un istrumento del tipo descritto a pag. 133, come amplificatore di potenza.

In questi casi speciali, si troveranno molte difficoltà per fare funzionare egregiamente tutto il complesso amplificatore.

È bene che questo sia in un locale tranquillo e che lampade ed istrumenti siano sospesi elasticamente per evitare rumori ed interferenze. La protezione degli amplificatori dai disturbi a BF tanto comuni nelle città (trams, linee elettriche, telefoni ecc.) è pure

molto importante. Così si eviteranno i rumori nei pressi delle lampade che sono molto spesso riprodotti con grande danno alla trasmissione.

Come il lettore potrà immaginare un impianto di questo genere entra già nella categoria dei veri posti di trasmissione telefonica cosidetti industriali o commerciali. Tuttavia ho voluto esaminare per sommi capi questa eventualità d'impianto che potrebbe favorire le esperienze e gli studi di qualcuno. Nel sesto capitolo darò pure i dati pratici necessari.

Nella fig. 452 si vedono chiaramente e in pratica i vari stadi. Al microfono (a destra dell'altoparlante) segue un amplificatore di potenza a tre stadi a resistenze che agisce su tre lampade maggiori nel panello a sinistra (si noti la protezione dalle influenze esterne a mezzo del tubo che le contiene). La corrente amplificata viene infine mandata ad un'ultima lampada amplificatrice nel panello al fondo a destra. Esaminando quest' ultimo (fig. 453) troviamo che a questa lampada (piccolo triodo a destra) seguono le due modulatrici e quindi le due oscillatrici in parallelo collegate secondo il circuito di modulazione su placca.

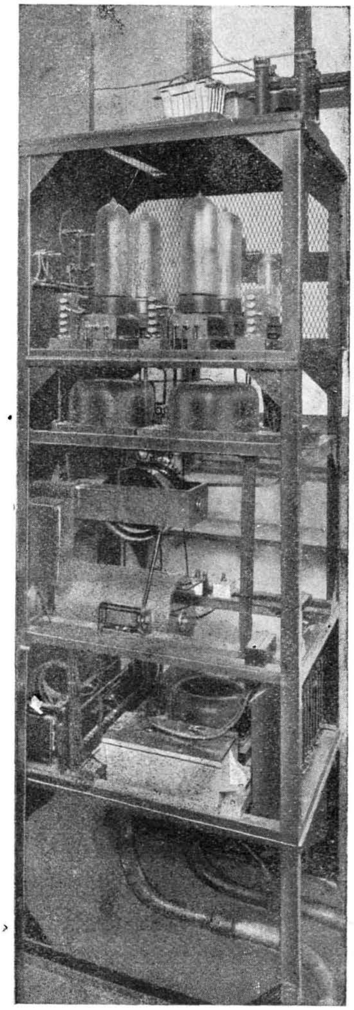


Fig. 453

Per dare un' idea dell'amplificazione raggiungibile a mezzo di stadi successivi in aumento, serve l' impianto della figura 454. Esso rappresenta l' ultimo stadio di amplificazione della stazione telefonica impiantata negli S. U. A. per il servizio usuale transatlantico. La corrente microfonica amplificata da prima con piccoli triodi da 5 watts, indi da 50, 500 ecc. può alfine raggiungere l' amplificatore della fotografia. Questo fornisce una potenza di qualche centinaio di kw. che segue fedelmente le più piccole e minute variazioni della voce di chi parla al microfono.

Ora se si pensa che un comune altisonante assorbe una potenza

dell'ordine del watt e come il più potente finora costruito possa consumare *qualche* kw., è possibile farsi un'idea della grandezza della corrente amplificata.

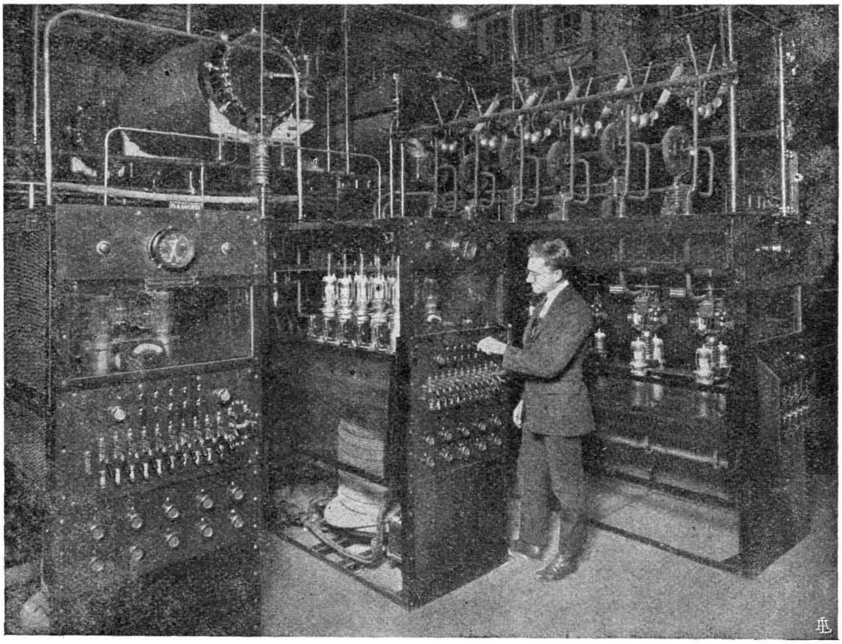


Fig. 454.

La trasmissione ultra selettiva. — Le caratteristiche di un'onda modulata sono state sfruttate per varie applicazioni oltre a quelle riguardanti la trasmissione telefonica.

La trattazione dei particolari sistemi richiederebbe troppo tempo per essere compresa in questo lavoro: tuttavia ricorderemo due applicazioni tipiche che essendo ancora in istato di evoluzione si prestano ad essere studiate e perfezionate: la trasmissione ultra selettiva e la trasmissione a distanza delle immagini. Ambedue sfruttano il principio della modulazione e sono state studiate ed applicate da molti esperimentatori in svariatissimi modi: fra questi noi ci riferiremo ai più semplici allo stato attuale della tecnica.

Un principio di trasmissione ultra selettiva è il seguente: La frequenza emessa o principale viene modulata con una frequenza, d'ordine radio-elettrico ma varie volte minore, la quale viene alla sua volta modulata con segnali telegrafici o telefonici. In questo caso un ricevitore

sintonizzato sulla frequenza principale non fornisce alcun segnale, poichè la modulazione effettiva è eseguita sulla frequenza secondaria.

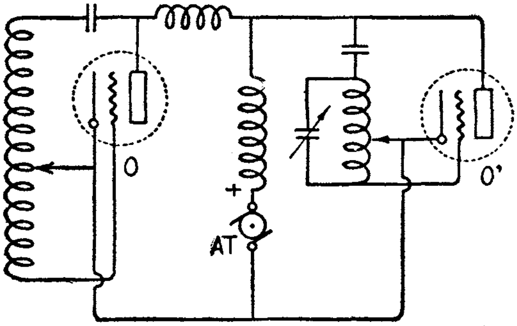


Fig. 455.

Occorre allora fare seguire al primo un secondo raddrizzatore accordato appunto su questa frequenza così da avere la percezione esatta dei segnali trasmessi.

Questo sistema ci fornisce vari vantaggi:

Trasmissione ricevibile soltanto con adatti apparecchi e conoscendo la frequenza secondaria; possibilità di usare la stessa onda fondamentale per trasmissioni differenti usando varie frequenze secondarie; grande riduzione delle interferenze e dei rumori parassiti.

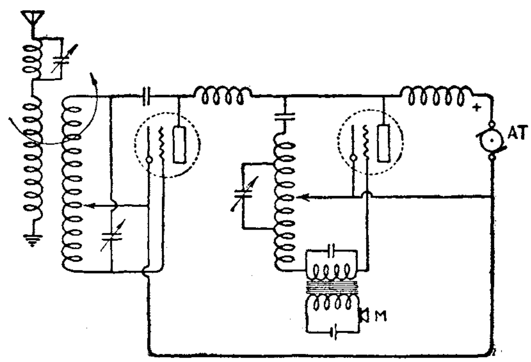


Fig. 456.

La realizzazione pratica sia del trasmettitore che del ricevitore non presenta nessuna difficoltà. Per il primo occorrono due triodi inseriti col solito schema di modulazione su placca colla differenza che il modulatore oscilla sull'onda secondaria.

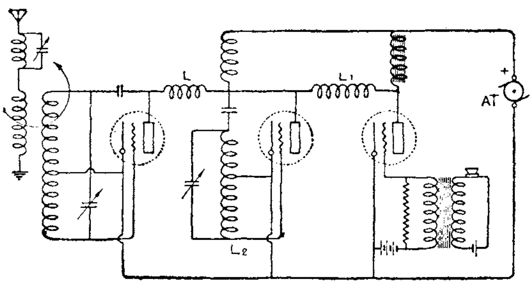


Fig. 457.

Consideriamo la figura 455. Abbiamo da prima il circuito d'aereo accoppiato all'oscillatore fondamentale O (che supponiamo funzionante p. es. su 100 metri) quindi collegato sul circuito placca di questo nel modo noto, abbiamo il secondo oscillatore O_1 (funzionante p. es. su 4000 metri). Per eseguire la trasmissione

telegrafica possiamo inserire il tasto sul circuito ad alta tensione con uno dei soliti metodi. Per trasmissione telefonica invece occorre modulare la frequenza secondaria, quindi si può applicare la modulazione, su griglia o su placca, al triodo O_1 (v. figure 456 e 457). È bene che sull'aereo sia inserito un circuito risonante sulla frequenza secondaria per impedire che questa venga irradiata alla stessa guisa di quella principale [1].

Il ricevitore è pure molto semplice.

Ad un circuito sintonizzato sull'onda principale che fa capo al primo raddrizzatore si fa seguire uno e più stadi di amplificazione *AF* calcolati per l'onda secondaria (fig. 458).

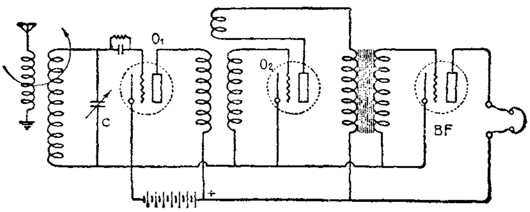


Fig. 458

Si ha così il grande vantaggio di potere amplificare con buon rendimento come nel caso del sistema super-eterodina (v. pag. 152) senza che però sia richiesto alcun artificio speciale. Se l'amplificatore intermedio non è direttamente influenzato da disturbi ed interferenze, questi sono pochissimo sentiti. Infatti essi fanno vibrare l'antenna sull'onda principale, ma queste oscillazioni se pure rivelate dal primo *detector* non possono attraversare l'amplificatore per la grande differenza di frequenza. Il sistema si presta ad essere studiato ed applicato fornendo ottimi risultati senza particolari difficoltà specialmente usando elevatissime frequenze principali e quindi onde corte.

Anche la trasmissione simultanea con una stessa onda supporto può trarre vantaggio da questo sistema: infatti se la frequenza principale venisse modulata con differenti frequenze secondarie si potrebbe facilmente separarle alla ricezione facendo seguire al primo detector vari amplificatori

(1) Per un'onda secondaria di 4-5 mila metri possono servire questi dati pratici. L'induttanza L_2 si costruisce avvolgendo su un rocchetto a gola largo 5-6 centimetri e di diametro iniziale analogo 500 spire di filo di rame di 0,8-1 mm. in strati successivi separati con carta. Si spazieranno i fili in modo da farne stare soltanto 25 spire per ogni strato e si prenderà una presa intermedia alla fine del 9° strato che servirà per il filamento.

Il condensatore variabile deve essere di qualità molto buona specialmente riguardo al dielettrico, ed avere una capacità di almeno 1 millesimo di microfarad.

Si possono vantaggiosamente usare condensatori fissi (se di ottima costruzione con dielettrico mica) per aumentare la lunghezza d'onda secondaria. La bobina di blocco da inserire sull'antenna ha le stesse caratteristiche di L_2. Tutti gli altri valori sono quelli usati nella pratica di trasmissione comune.

sintonizzati sulle rispettive frequenze secondarie come è schematicamente dimostrato dalla figura 459.

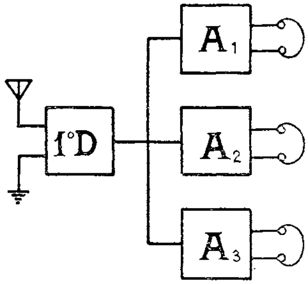


Fig. 459.

Radiofotografia. — Il problema della trasmissione delle immagini è stato lungamente e da molto tempo studiato ed esperimentato con risultati più o meno lusinghieri se pur non ancora definitivi.

Quanto segue dimostra come soltanto a mezzo di correnti ad altissima frequenza e quindi coll' uso di onde corte si potrà risolvere l' arduo problema della trasmissione delle immagini.

La trasmissione delle fotografie, con o senza filo, è già entrata nella pratica da molto tempo e continua sempre a perfezionarsi. Il principio sul quale si basa è oggi comune a tutte le trasmissioni visive a mezzo dell'elettricità: *La decomposizione dell'immagine nel più grande numero di punti.*

Poichè ad ogni punto si fa corrispondere un impulso è evidente che l' insieme di questi impulsi determina una corrente pulsante o alternata di frequenza proporzionale al loro succedersi.

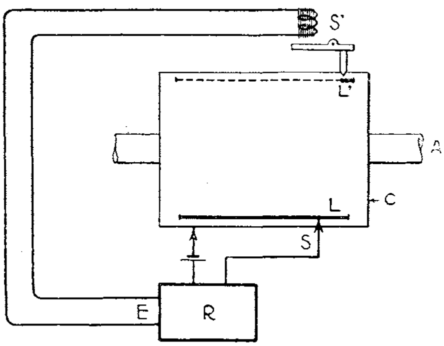


Fig. 460.

Vediamo ora come è possisibile scomporre l' immagine in punti e fare corrispondere a questi, impulsi elettrici di determinata intensità.

Supponiamo di avere (vedi fig. 460) calettato su un'asse a vite A un cilindro metallico C il quale sia girato con qualche artificio con moto uniforme e costante. Evidentemente girando in un senso o nell'altro esso è obbligato anche ad un movimento di traslazione a destra o a sinisrta della vite che lo sopporta.

Ora supponiamo di tracciare sul cilindro metallico una linea L (tratto marcato della figura) usando per esempio della vernice isolante. Se noi applichiamo sul cilindro una spazzola metallica come mostra il disegno, avremo un' interruzione della corrente tutte le volte che la spazzola passa sopra la riga isolante, interruzione cfie può essere facilmente trasformata dal *relay* R in un impulso nel circuito esterno E, il quale sarà quindi

percorso da tanti impulsi quante volte la spazzola S passa sulla linea isolante L.

Se noi ora facciamo che la corrente uscente da R muova un piccolo stilo scrivente S', dalla sua posizione di riposo fino a fargli toccare il cilindro C in L_1, avremo, man mano che il cilindro avanza, la riproduzione esatta di L, poichè ai singoli impulsi determinati nel circuito di S corrispondono altrettanti punti segnati sul cilindro dello stilo S'. Ecco quindi realizzata la prima trasmissione grafica e cioè da L in L_1. Tutto ciò si è supposto per semplicità affinchè il movimento del cilindro rispetto alle due punte S ed S' fosse identico e costante cioè sincrono. Ma possiamo allora supporre che un secondo cilindro, lontano dal primo, si muova in perfetto sincronismo con questo. Lo stilo S' collegato al relay con o senza filo riprodurrà identicamente la linea L_1 e qualsiasi altro segno noi avessimo disegnato con la vernice isolante sul cilindro trasmettitore.

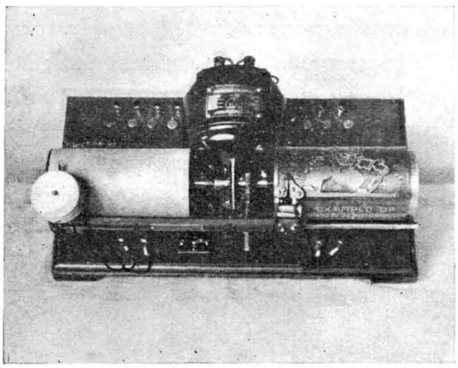


Fig. 461.

Ciò può già dirsi trasmissione grafica a distanza ed è stato anzi modernamente utilizzato per costruire un ingegnoso e semplice apparecchio che trasmette e riceve disegni, grafici e scritti, sia per filo che per radio.

La fig. 461 ne mostra chiaramente le parti esenziali: un motore elettrico *sincrono* muove simultaneamente i due cilindri che si trovano a destra e a sinistra i quali servono rispettivamente per trasmettere e ricevere nello stesso tempo. Il problema del sincronismo che è stato sempre uno dei più ardui è qui automaticamente risolto affidandosi alla costanza della frequenza delle correnti industriali che è generalmente bastevole allo scopo.

Poichè il genere della trasmissione grafica è esclusivamente « bianco e nero », compito del cilindro trasmettitore non è altro che aprire e chiudere il circuito. Il sistema più semplice, visibile in figura, è quello di costruire in rilievo su una lastra metallica applicata al cilindro il disegno che si vuole trasmettere, così che durante la rotazione i punti di questo venendo in contatto con uno stilo metallico, possano far agire un adatto relay.

Per semplificare occorre cambiare la forma dello stilo formandolo con due punte molto ravvicinate (fig. 462). In questo modo eseguendo

il disegno da trasmettere con inchiostro conduttore o semplicemente con grafite molto spessa, si ha la chiusura del circuito tutte le volte che lo stilo attraversa le parti disegnate (1).

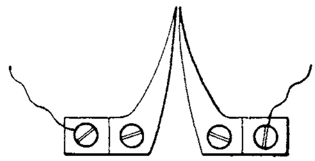


Fig. 462.

In tutti questi casi occorre un sensibile relay il quale a sua volta faccia agire il trasmettitore così da ridurre ad un valore infimo l'intensità della corrente nel circuito (fig. 463). Lo stilo possiede un movimento di traslazione, parallelo all'asse del cilindro, così da « esplorarlo » in breve tempo.

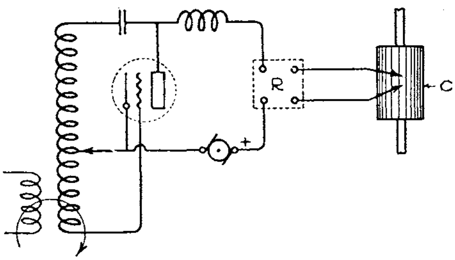


Fig. 463.

Le velocità della trasmissione dipende principalmente dalla sensibilità e inerzia del relay, dall'attività del sistema ricevitore e dal numero di punti nei quali deve venir scomposta l'immagine.

Praticamente per un'efficace riproduzione bisogna mantenersi sulle 30-50 interruzioni al secondo.

Sul cilindro ricevitore scorre un analogo stilo che può portare una vera « penna » ed essere quindi comandato meccanicamente o agire direttamente a mezzo dell'elettrolisi sulla carta quando questa sia convenientemente preparata.

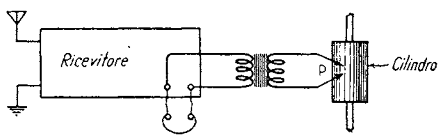


Fig. 464.

Questo secondo sistema è il più pratico e permette di usare uno stilo analogo a quello trasmettitore e di inserirlo direttamente all'uscita dell'amplificatore (2), (fig. 464).

(1) In pratica la matrice per il cilindro trasmettitore può ottenersi con un procedimento analogo a quello fotografico. Si stampa cioè la negativa del disegno su una sottile lastrina di rame previamente sensibilizzata.

Per questa operazione si immerge la lastra ben tersa in una soluzione di gomma nel bicromato di ammonio, quindi si riscalda leggermente per seccare la pellicola che così si forma.

La luce rende insolubile la gomma così che lavando la lastra, dopo l'esposizione, le parti non illuminate vengono liberate dalla pellicola isolante, rendendo possibile il contatto dello stilo.

(2) Fra le tante soluzioni elettrolitiche le migliori sono quelle iodiche in presenza d'amido. Quelle di sali d'ammonio sono pure molto sensibili ed hanno anche il vantaggio di mantenere umida la carta a cagione della loro igroscopicità. Formule convenienti sono:

Acqua distillata . . . . . . p.	150	Protocloruro di antimonio . p.	30
Nitrato di ammonio . . . . p.	30	Acqua . . . . p.	120
Ferrocianuro di potassio . . p.	5	Acido cloridrico . . . . . . p.	100

La carta deve essere leggermente assorbente e va usata allo stato semi-umido.

Per impedire che la corrente di placca che attraversa continuamente lo stilo riesca nociva, occorre regolare convenientemente il potenziale di griglia dell'ultima lampada dell'amplificatore, così che anche la corrente placca sia ridotta ad un esiguo valore durante i periodi di inattività per ritornare massima soltanto all'arrivo dei segnali.

La costruzione di apparecchi di questo genere è molto semplice e alla portata di tutti e l'utilità di studio in questo campo notevole anche dal punto di vista pratico (1).

Anche la vera e propria trasmissione fotografica richiede la divisione per punti della immagine, ma in questo caso non è più soltanto necessaria una serie di aperture e di interruzioni del circuito, ma bensì le mezze tinte e le sfumature richiedono che gli impulsi della scomposizione posseggano individualmente un'intensità proporzionale a quella dei punti dell'immagine. Occorre cioè una modulazione continuamente variabile dell'emissione analoga a quella adottata per trasmettere a distanza i suoni e la parola.

Possiamo realizzare molto facilmente la cosa facendo trasparente il nostro cilindro e applicando alla superficie una comune pellicola fotografica, (fig. 465).

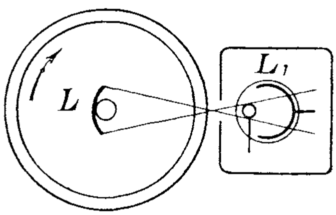


Fig. 465.

Se si fa in modo che un sottile raggio luminoso possa attraversare la pellicola abbiamo, durante il movimento del cilindro, una variazione dell'intensità luminosa del raggio stesso per ogni punto dell'immagine.

L'intensità del raggio è cioè *modulata* secondo la particolare immagine fissata al cilindro.

Si tratta ora di trasformare questa variazione luminosa in elettrica.

Le proprietà del selenio, dell'ossido di tallio ecc. cui si è ricorso nel passato, non possono essere efficacemente sfruttate per un sistema rapido di trasmissione a cagione dell'inevitabile « inerzia » che questi corpi presentano (2).

(1) Il lettore interessato può trovare un valido aiuto nei trattati particolari sull'argomento, poichè i precedenti, a puro scopo illustrativo, rappresentano soltanto una, sia pur semplice, delle numerose soluzioni.

(2) Il selenio è il corpo fotoelettrico tipico. Egli cioè, convenientemente trattato, presenta una resistenza elettrica variabile a seconda dell'intensità luminosa che lo colpisce.

Altri corpi presentano la stessa proprietà, ma tutti indistintamente non seguono istantaneamente le variazioni della luce. Essi presentano cioè un' « inerzia fotoelettrica » che è sempre stata di ostacolo al loro pratico uso.

Modernamente soltanto la cosidetta *lampada fotoelettrica* ha risolto ogni difficoltà.

Essa si basa su una singolare proprietà dei metalli alcalini, di emettere cioè elettroni quando sono esposti alla luce e prende impropriamente il nome di lampada per la forma pratica che ha ricevuto.

Essa consta generalmente di un bulbo di vetro vuotato nel miglior modo dall'aria, che porta depositato sulla superficie interna un sottile strato di metallo (potassio) che viene posto in contatto con un filo passante all'esterno (fig. 467).

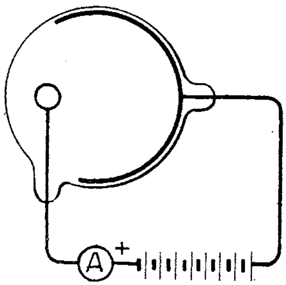


Fig. 466.

Sulla parte anteriore il deposito è interrotto per il passaggio della luce e al centro della ampolla si pone un elettrodo che ha la funzione di attirare gli elettroni emessi dal metallo, analogamente alla placca di un comune diodo o triodo.

Se la lampada è illuminata e si dà una carica positiva a questo elettrodo si nota nel micro-amperometro *A* il passaggio di una corrente elettrica che cessa istantaneamente quando l'illuminazione viene a mancare.

Poichè questa corrente segue con la massima fedeltà e senza « inerzia » le variazioni di intensità della luce, la lampada si presta benissimo alla trasformazione che ci interessa.

Ma l'intensità nel circuito è molto debole (ordine del micro-ampère) ed è quindi indispensabile una forte amplificazione. Quando le variazioni illuminate sono molto lente, la corrente fotoelettrica può considerarsi pressochè continua; quindi gli ordinari amplificatori non possono servire ad aumentarla. Occorre un dispositivo particolare così detto a « *corrente continua* », del quale lo schema della figura 467 dà una idea sufficiente.

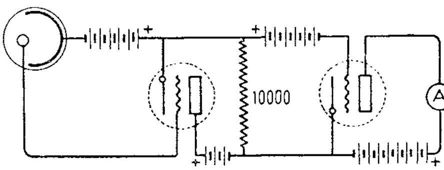


Fig. 467.

Per usare uno dei soliti amplificatori la corrente placca della lampada fotoelettrica deve essere interrotta alla frequenza cui meglio risponde l'amplificatore stesso. Nel nostro caso possiamo interrompere la luce di intensità variabile proveniente dalla scomposizione dell'immagine a mezzo di un disco dentato che ruoti rapidamente davanti alla cellula stessa. Si ottiene così una serie di impulsi di frequenza proporzionale alla velocità del disco, e ci si può quindi portare nelle migliori condizioni di funzionamento.

Ponendo la lampada al di là di uno schermo collocato vicinissimo al cilindro trasparente che porta l'immagine, e in corrispondenza di un piccolo foro in esso praticato, possiamo ottenere una rapidissima scomposizione per l'assoluta mancanza d'inerzia che presenta la cellula stessa.

Ma il sistema del cilindro, per quanto semplice e suscettibile di positivi risultati, non si presta per le grandi velocità per cause puramente meccaniche.

Si sono studiati molti altri sistemi allo scopo; è interessante ricordare i due più semplici ed efficaci.

Il sistema Jenkins (americano) utilizza un prisma circolare con faccie ad inclinazione variabile. Esso è basato su un principio molto semplice.

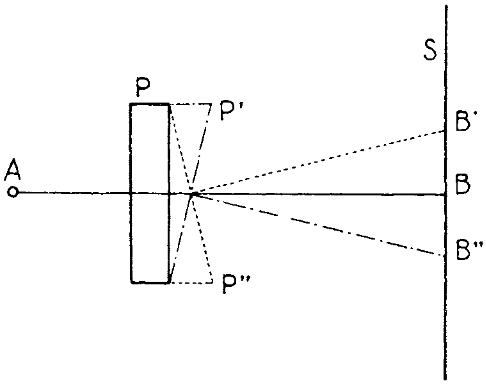


Fig. 468.

Un raggio proveniente da A (fig. 468) continua il suo cammino in linea retta se incide normalmente sul prisma P a faccie piane e parallele (tratto marcato), ma viene deviato in B' o in B'' se le faccie formano un certo angolo fra loro (P' e P''). Il prisma del Jenkins è un disco di cristallo, la sezione del quale va gradualmente trasformandosi dalla forma H alla forma H' (fig. 469).

In questo modo durante una rotazione del disco si verificano tutti gli stadi intermedi fra i casi limiti considerati nella fig. 468, e quindi il raggio incidente percorre il segmento B' B'' (fig. 470). Dopo un giro il raggio ritorna istantaneamente in B' per raggiungere ancora B'' e così via. In questo modo ruotando rapidamente il disco stesso è possibile una velocissima esplorazione *longitudinale* della fotografia.

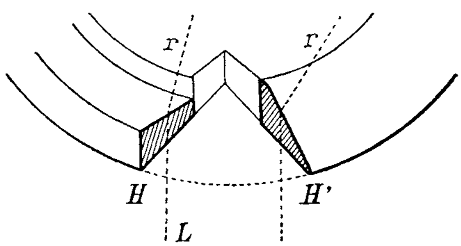


Fig. 469.

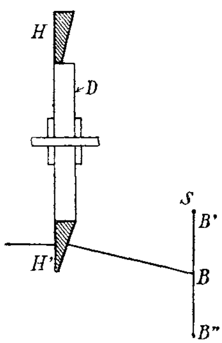


Fig. 470.

Ma per ottenere la scomposizione completa, occorre un secondo

movimento (di traslazione) che si potrebbe ottenere facendo muovere lentamente la fotografia a mezzo di una vite. Il sistema Jenkins utilizza invece un secondo disco di cristallo che sposta l'immagine in senso ortogonale al primo. Naturalmente questo secondo disco fa un solo giro mentre l'altro ne fa un numero molto grande necessario a rendere chiara e minuta la scomposizione.

Supponiamo per esempio di voler scomporre una fotografia del formato 9×12, e che il primo disco (veloce) debba scomporre dall'alto in basso (12 cm.), mentre il secondo debba traslare da sinistra a destra (9 cm.). Fissiamo a 1 le linee dall'alto in basso per ogni millimetro, quindi tutta l'immagine sarà formata con 90 linee. Dato ora che il primo disco scompone una linea ogni giro completo, occorreranno 90 giri per ricoprire tutta l'immagine, mentre il secondo disco si muove lentamente fino a determinare alla fine la traslazione totale di 9 cm.

A questo punto tutta l'immagine è stata scomposta in punti, e quindi in impulsi elettrici. Questi possono essere trasmessi a distanza e determinare variazioni nell'intensità luminosa di una lampada adatta. Queste variazioni distribuite su uno schermo di carta fotografica da un'altra coppia di dischi e che si muovono in perfetto sincronismo coi precedenti, danno la riproduzione esatta della fotografia trasmessa.

Un altro sistema di scomposizione pure semplice ed interessante è dovuto al Voss (tedesco). Egli usa degli specchi disposti secondo le faccie di un solido geometrico (ottagono ad esempio) messi in rapida rotazione. Usando due sistemi di questo genere, disposti ortogonalmente fra loro, egli ottiene la completa esplorazione dell'immagine (fig. 471).

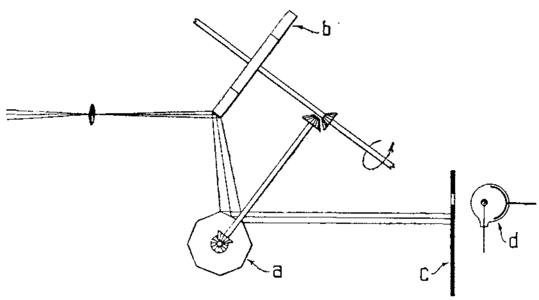


Fig. 471.

Con gli istrumenti descritti e senza un'eccessiva complessità d'impianto, è stato possibile trasmettere ad un centinaio di chilometri una perfetta fotografia in meno di un decimo di secondo.

Radiovisione. — Questa rilevante velocità di scomposizione ha fatto entrare nel campo delle prossime applicazioni il già tanto discusso e studiato problema della trasmissione a distanza delle immagini animate o della *radio-visione*.

Ci si basa allo scopo su un fenomeno molto noto: il nostro occhio cioè, colpito da una vibrazione luminosa di durata sia pur brevissima (p. es. un cento millesimo di secondo), vede questa vibrazione per un tempo molto più lungo e mai inferiore ad $^1/_{16}$ di secondo.

A questa singolare proprietà della nostra retina si dà il nome di *persistenza delle immagini.*

La televisione diventa un fatto compiuto quando l'immagine da trasmettere sia totalmente scomposta in un sedicesimo di secondo al massimo.

In altre parole, quando sullo schermo ricevitore tutti i punti dell'immagine riapparissero ad intervalli di un sedicesimo di secondo, noi avremmo una visione fissa e ben definita, anche se la durata dei singoli punti fosse pressochè infinitesima.

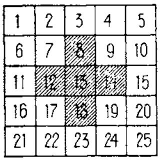


Fig. 472.

Supponiamo ad esempio un'immagine di 25 punti (fig. 172). Per formarla l'apparato ricevitore deve illuminare successivamente i quadretti 1, 2, 3, 4, 5 ecc., e affinchè essa ci appaia fissa il ciclo completo dall'uno al venticinque si deve compiere in meno di un sedicesimo di secondo, per ricominciare di nuovo e così via.

Ora, finchè il numero dei punti da trasmettere è limitato, i comuni sistemi di trasmissione fotografica possono servire, ma quando si pensa che per una chiara visione di una piccolissima immagine occorre una scomposizione da 100 a 500 mila punti e che questo deve essere ripetuto 16 volte al secondo, le difficoltà da vincere sembrano insuperabili.

Recentemente il Jenkins, il Voss ed altri sono riusciti a trasmettere a distanza delle *silhuettes* in bianco e nero con scomposizioni dai 5 ai 15 mila punti.

Il procedimento adottato dal Jenkins è una felice modificazione di quello già descritto per la trasmissione rapida delle fotografie. Supponiamo di voler trasmettere la stessa immagine 9×12 già citata, ma che anzichè da una fotografia fosse costituita da un'immagine animata.

Per scomporre tutta l'immagine occorrono 90 giri del disco veloce e un giro di quello lento.

Per realizzare la televisione occorre che questo succeda 16 volte al secondo, e quindi che i giri dei due dischi siano rispettivamente 1460 e 16 al secondo.

Ora la velocità di 87.600 giri al minuto che dovrebbe avere il primo disco è impossibile a realizzare praticamente.

Il Jenkins ha mantenuto il secondo disco (lento) ed ha risolto molto semplicemente il problema della velocità del primo inserendo sulla peri-

feria di un disco un grande numero di prismi o lenti capaci ciascuno di produrre una deviazione equivalente a quella di un giro del disco primitivo.

Ora, aumentando a piacere il numero di questi prismi, è possibile diminuire sempre più la velocità di rotazione o di aumcntare la rapidità di scomposizione.

Così al nostro caso un disco con 100 lenti darà la scomposizione necessaria facendo soltanto 876 giri al minuto.

La fotografia della fig. 473 mostra appunto la realizzazione pratica di questo disco che costituisce assieme all'altro, pure visibile, la parte essenziale dell'apparecchio trasmettitore e ricevitore.

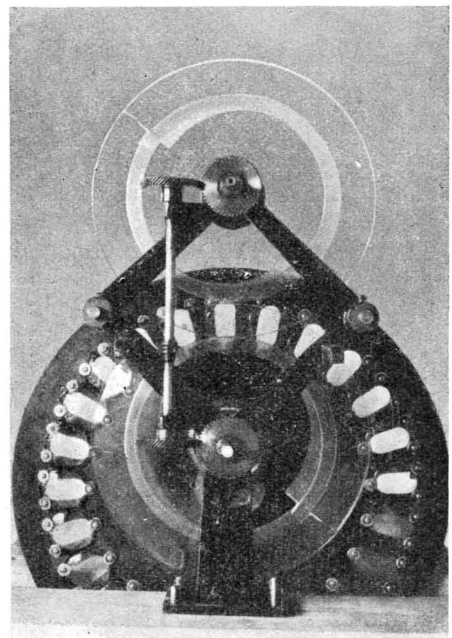


Fig. 473.

Il Voss d'altra parte col suo sistema di specchi riesce senza difficoltà e con una singolare semplicità di impianto a spingere la scomposizione alle più alte velocità.

Ma supposto anche risolto il problema della scomposizione e della relativa necessaria trasformazione in elettrici degli impulsi luminosi che da questa derivano, ci si presenta subito una nuova e non indifferente difficoltà. Ottenere cioè al ricevitore una sorgente di luce, l'intensità della quale possa variare senza la più piccola « inerzia » con la frequenza elevatissima della corrente modulata dall'immagine.

Riprendendo il nostro caso dell'immagine 9×12 e supponendo che per ogni linea vi siano 120 punti da trasmettere, abbiamo un totale di 10.800 punti nelle 90 linee che debbono riapparire 16 volte al secondo, così che la lampada dovrà rispondere ad una frequenza di 172.800 impulsi.

Il Jenkins utilizza allo scopo la cosidetta lampada Moore che è basata sullo stesso principio del raddrizzatore a gas rarefatto (v. pag. 391). Essa è costituita essenzialmente da due cilindri metallici concentrici e vicinissimi posti in un ambiente d'aria rarefatta. La corrente passa sol-

tanto per la via più lunga, cioè dall'orlo del cilindro interno all'orlo del cilindro esterno e quindi per ogni impulso elettrico impresso su gli elettrodi si nota un'istantanea illuminazione dell'estremità dei cilindri, illuminazione che può raggiungere le più alte velocità.

In modo analogo altri tipi di lampade a scarica nel vuoto possono essere utilizzati.

Il Voss ottiene lo stesso risultato con un sistema più complesso. Egli usa una lampada per raggi X leggermente modificata coll'inserzione di un nuovo elettrodo in prossimità del catodo.

Questo elettrodo, analogo alla griglia di un audion comune, ha un ufficio di controllo sull'emissione catodica che ostacola o accelera anche a frequenze elevatissime senza la minima inerzia.

Rientrando nel nostro campo, della modulazione cioè, possiamo essere ora ben certi che soltanto con onde cortissime potrà in un prossimo futuro praticamente compiersi la radio visione.

Poichè il circuito trasmettitore è analogo ad uno dei circuiti telefonici già esaminati, dove al posto del microfono viene posta la cellula fotoelettrica, è evidente che per frequenze di modulazione di vari milioni di periodi (come una pratica radiovisione richiede), occorreranno frequenze di supporto varie volte maggiori.

Modulazione e trasmissione a distanza. — Sebbene la ricerca sperimentale delle proprietà di propagazione a distanza delle onde corte debba principalmente imperniarsi sull'uso di segnali telegrafici, che permettono un collegamento *sicuro* con potenze molto ridotte, tuttavia può spesso riuscire utile l'impiego di onde modulate.

In questo caso il campo di studio è limitato alla ricerca delle caratteristiche e della natura di eventuali *distorsioni* nella frequenza o nelle frequenze di modulazione, quindi occorre che l'intensità dei segnali ricevuti sia molto buona per sottrarsi ad errori grossolani. Per intraprendere una serie di esperienze in questo senso occorre che la purezza della modulazione sia la massima possibile nelle immediate vicinanze del radiatore. È possibile anzichè direttamente con la parola, modulare con una serie di frequenze acustiche determinate e costanti e susseguentesi a brevi intervalli di tempo, notando poi al ricevitore le modificazioni che la serie subisce a varia distanza, nel tempo, con varie antenne ecc.

Quando le esperienze si eseguono a distanze relativamente piccole, il condurle a mezzo di telefonia può portare ad un notevole risparmio di tempo e ad una maggiore acutezza d'osservazione. In questi casi è però necessario che la ricezione risulti perfetta sotto ogni rapporto.

Molto utile sarebbe pure che anche una sola stazione, incaricata di centralizzare i risultati che da numerose altre le pervengono, potesse disporre di un potente trasmettitore telefonico, per informare istante per istante i posti d'osservazione.

L'impianto e l'esercizio di un posto telefonico deve essere subordinato alla certezza di un suo ottimo funzionamento e cioè: alla perfezione della modulazione, alla costanza e purezza dell'onda portante e alla acutezza di sintonia.

Un insieme che non risponda a questi requisiti riesce non solo di poca utilità all'operatore, ma anche di rilevante danno alla comunità.

CAPITOLO VI.

PRATICA DEI TRASMETTITORI

Generalità. — I concetti teorici elementari che abbiamo esaminato, possono permettere l'inizio di uno studio esperimentale e pratico dei trasmettitori ad alta frequenza.

È nostro proposito di produrre ed irradiare onde di frequenza molto elevata e di soddisfare principalmente tre fattori: *rendimento, stabilità di frequenza* e *semplicità di impianto.*

Oltre a ciò è indispensabile rendersi conto di ogni peculiare comportamento dell'insieme trasmettitore per poterlo usare e modificare con criterio e sicurezza.

La ricerca di un rendimento elevato è importante, sebbene in grado minore della stabilità di frequenza. Le perdite che diminuiscono il rendimento hanno principalmente sede nell'insieme oscillatore (triodi, induttanze, capacità) e nell'insieme radiante.

È evidente tuttavia che, specialmente nel nostro caso (uso di onde corte) le perdite più notevoli nelle comunicazioni a distanza, sono rappresentate da quelle dovute alla *propagazione.*

Sappiamo (v. cap. 1°) quanti fattori influiscono su queste perdite e quanto incerta è ancora la nostra conoscenza in proposito. Esse variano, per quanto oggi ci è noto, con la distanza fra trasmettitore e ricevitore, con la lunghezza d'onda e col modo di operazione dell'antenna.

È presumibile in ogni caso che con onde inferiori ai 50 metri la maggior parte dell'energia irradiata venga dispersa per assorbimento nel suolo e per insufficiente rifrazione degli strati superiori.

Non è possibile esprimere oggi in modo positivo, sia pur anche approssimato, l'entità di queste perdite. Non ne terremo quindi conto, almeno per ora.

La stabilità della frequenza è il fattore che maggiormente limita l'uso pratico di onde corte. La costanza assoluta è molto difficile ad ottenere e praticamente si cerca di avvicinarsi a questa rendendo invariabili il più possibile le « costanti » del trasmettitore e del sistema radiante e specialmente con l'*eccitazione separata* dell'oscillatore.

La semplicità d'impianto deve pure essere considerata nel nostro caso, per facilitare con l'economia e la sicurezza di funzionamento lo studio esperimentale al maggior numero di persone.

Induttanze. — Le induttanze dei circuiti trasmettitori sebbene riservate a molteplici e complessi scopi, possono classificarsi semplicemente come adatte a *facilitare* o ad *ostacolare* le correnti *AF*. Nella ricerca di un buon rendimento occorre che esse veramente facilitino o veramente ostacolino queste correnti: quindi l'importanza di una buona costruzione è la stessa per ambedue i tipi.

Alla prima categoria appartengono le induttanze dei circuiti oscillanti, d'antenna ecc. che vengono riconosciute in pratica come *bobine d'induttanza* o *self.* Alla seconda quelle induttanze comunque inserite che servono a proteggere parti del circuito dalle correnti *AF* generate e che vengono chiamate *bobine d'arresto* o *di blocco* o *chokes.*

Le perdite nelle bobine d'induttanza che debbono essere sede di correnti di frequenza così alta come quelle necessarie alla produzione di onde corte, risiedono essenzialmente nel conduttore e nel dielettrico. La bobina inoltre deve essere indeformabile meccanicamente durante il funzionamento.

Le perdite nel conduttore o *nel rame* si diminuiscono spaziando sufficientemente le spire ed aumentano quanto più grande è il diametro del conduttore (v. pag. 186); d'altra parte questo non può essere troppo piccolo per non presentare un aumento notevole delle perdite dovute all' « effetto superficiale ».

Per ogni frequenza e per ogni potenza esiste quindi un diametro « optimum » del conduttore per il quale le varie perdite sono minime.

Praticamente, basandosi su misure eseguite in laboratorio si trovano i valori della tabella, valevoli per una distanza fra spira e spira di 2-3 diametri, distanza che sembra la più indicata, un successivo aumento non apportando nessun vantaggio.

λ metri	DIAMETRO		
	< 50 watts	< 500 watts	< 1000 watts
2 — 6	8	15	20
6 — 15	4	7	10
15 — 50	2 — 3	5	8
50 — 100	2	4	8
100 — 200	1	4	6

Usando tubi di diametro relativamente grosso, si può migliorare la distribuzione superficiale della corrente *AF* tagliandoli lungo la parte concava (interna). In questo modo si evita l'addensamento della corrente appunto sulle porzioni interne dell'induttanza.

Un' importanza molto più grande ha il dielettrico che circonda e sostiene l' induttanza. Soltanto chi ha esperimentato con frequenze elevate a grande potenza, ha potuto molto facilmente accorgersi di ciò notando il riscaldamento di questo sotto l' azione del campo *AF*.

Si cerca di diminuire queste perdite usando il più possibile *aria* come dielettrico; ma tuttavia le perdite in un *buon* dielettrico solido sono così esigue che spesso i vantaggi da esso introdotti nella rigidità meccanica dell' insieme le compensano di gran lunga. La *paraffina* e lo *zolfo* sono due ottimi dielettrici che si prestano però male ad essere lavorati e a mantenere una costante rigidità.

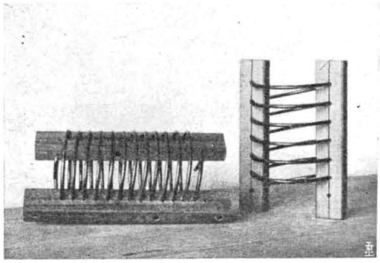


Fig. 474.

Il legno duro ben paraffinato permette un' efficiente costruzione con mezzi molto limitati (v. fig. 474), tuttavia quando la potenza è notevole e la frequenza è molto alta ($\lambda < 20$ m.) possono verificarsi riscaldamenti, che se pure trascurabili dal lato perdite, possono modificare le costanti dell' induttanza stessa e quindi portare a notevoli cambiamenti di frequenza.

Il vetro e specialmente la buona ebanite si prestano molto bene fino alle più alte frequenze e permettono di rendere molto rigide le induttanze stesse.

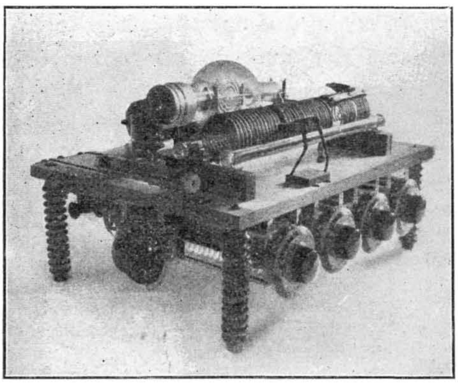


Fig. 475.

Escludendo i casi di ricerca del massimo rendimento con potenze dell' ordine del watt (dove quindi ogni più piccola perdita deve essere evitata) è possibile ottenere (finchè la potenza non supera i 50 watts) buonissimi risultati usando induttanze cilindriche su tubo sottile di cartone con spire spaziate (2-3 diametri). Questa costruzione è indispensabile quando l' istrumento trasmettitore è soggetto a vibrazioni durante il funzionamento (stazioni su aerei, auto ecc.) a meno di non ricorrere a costruzioni più complicate, nelle quali tuttavia la massa totale del dielettrico non è certo inferiore.

È utile che il conduttore che costituisce l'induttanza non sia ricoperto per avere la possibilità di eseguire prese intermedie in qualsiasi punto nella ricerca del rendimento migliore.

Quando la potenza è relativamente grande o allorchè si desiderano eliminare anche le più piccole perdite, si usa con vantaggio l'induttanza completamente in aria.

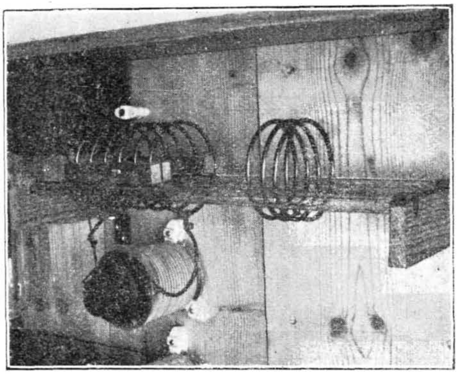


Fig. 476.

Occorre usare all'uopo un diametro del conduttore non inferiore ai 6 millimetri, si spazieranno le spire di 3-4 diametri e si userà un sostegno come alle figure 475 e 476 che permette anche un facile scambio delle induttanze. Quando il diametro si avvicina al centimetro è consigliabile tagliare longitudinalmente il tubo, come fu detto prima.

Nei limiti del possibile occorre non usare induttanze maggiori del necessario che rimarrebbero con sezioni inattive e quindi dannose.

In caso di necessità si seguiranno le precauzioni esposte più avanti (v. pag. 476).

L'altra categoria di induttanze o *bobine di blocco* deve avere un principale requisito: presentare la *minima capacità* distribuita possibile, per impedire che il passaggio della corrente AF non si effettui attraverso a questa.

La sezione del filo sia appena sufficiente ad impedire un eccessivo riscaldamento; infatti la parte di bobina che fa capo al circuito AF è percorsa da correnti AF (che vanno sempre più diminuendo) e quindi se la sezione del filo è molto piccola esso può riscaldarsi fortemente. Per questo in molti casi si preferisce inserire due bobine la prima delle quali (L) di filo relativamente grosso e di poche spire è seguita da un'altra (L') con filo sottile e molte spire (v. fig. 477).

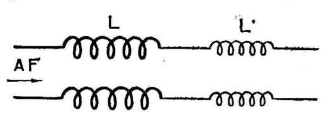


Fig. 477.

Alle volte riesce utile inserire un vero e proprio circuito risonante sulla frequenza generata collegando un condensatore variabile attraverso ad un'induttanza a filo relativamente grosso. Il sistema però è molto critico e basta una leggera variazione per ridurne l'efficacia. Si rimedia

a questo inconveniente facendo risonanti le prime induttanze L della fig. 479 (a mezzo dei condensatori C) e mantenendo le L (fig. 478). Ciò aumenta sempre di qualche cosa il rendimento totale, quindi è utile per chi desidera spingere questo al massimo. In pratica non è tuttavia molto usato per la maggiore complicazione di impianto.

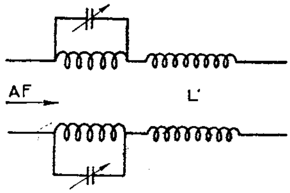


Fig. 478.

Per trovare facilmente i valori più adatti di induttanze per la gamma delle onde corte, può servire la tabella:

Lung. d'onda	N. spire δ 6/7 cm.	N. spire δ 2/3 cm.	N. spire δ 1 cm.
150 — 200	300	—	—
60 — 150	150	—	—
25 — 60	80	—	—
10 — 30	40	40	—
2 — 10	10	20	30

Per le onde molto corte si preferisce diminuire il diametro delle spire, che si avvolgono generalmente su un cilindro di cartone, vetro, porcellana ecc. Al di sotto dei trenta metri, a meno di non adottare un diametro molto piccolo, è bene spaziare una spira dall'altra. Coll' aumentto della frequenza si fa più sentire la necessità di impedire dispersioni di corrente AF attraverso le capacità del circuito. Così è bene inserire bobine d'arresto su ambedue i lati della alimentazione AT (L) e sul circuito di accensione (L^1, L^2, L^3) quando questa è realizzata con trasformatore (v. fig. 479). In questo ultimo caso il diametro del filo deve essere maggiore per lasciare liberamente passare la corrente di accensione senza un'eccessiva caduta di tensione.

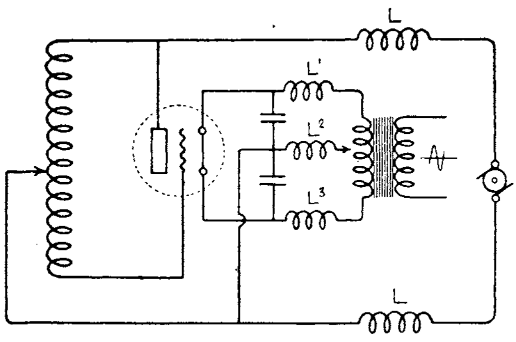


Fig. 479.

Condensatori. — Le capacità di un complesso trasmettitore sono quasi sempre percorse da correnti AF di intensità relativamente alta e spesso debbono sopportare tensioni elevate. Esse hanno quindi e principalmente tre requisiti da soddisfare: perdite minime, isolamento accu-

rato, possibilità di essere attraversate da correnti elevate senza danno.

Le perdite si limitano al solito curando in modo speciale la natura e la qualità del dielettrico sia fra armatura ed armatura sia di sostegno e rendendo molto buono il contatto fra le varie lamine di una stessa armatura.

Il buon isolamento richiede uno spessore sufficiente di dielettrico della migliore qualità fra le armature e i sostegni.

Il passaggio di correnti elevate richiede un sufficiente spessore delle lamine, buon collegamento fra le stesse e buon dielettrico.

Le necessità principali sono quindi: *buoni dielettrici ed armature di sufficiente spessore ben collegate.*

I condensatori variabili per trasmissione usano esclusivamente il dielettrico aria quando la frequenza è molto elevata. L'isolante di sostegno (preferibilmente ebanite, quarzo, ecc.) è posto fuori del campo elettrostatico ed è ridotto il più possibile. La spaziatura delle placche è notevole e dipendente dalla tensione impressa sul condensatore: essa varia da qualche millimetro a qualche centimetro nelle applicazioni pratiche più comuni.

La costruzione di uno di questi condensatori è più semplice di quanto lo sia quella di un condensatore per ricezione appunto per l'abbondante spazio fra placca e placca.

La capacità risultante è relativamente piccola e varia fra 0,05 e 0,5 millesimi di mf. nei tipi del commercio. Per chi volesse eseguire la costruzione da sè servono i seguenti dati:

tensione volta :	1000	2000	4000	8000	10000
spaziatura mm.	3	4	6	8	10

Si useranno placche in rame od ottone saldate fra loro (piuttosto che le solite di alluminio).

I condensatori fissi non si usano generalmente per formare circuiti oscillanti veri e propri ma hanno quasi sempre lo scopo di permettere un facile passaggio alle correnti *AF*. Ricercando il rendimento massimo con ogni scrupolo, dovrebbero essi pure usare aria come dielettrico; ma le dimensioni proibitive di un impianto usante simili condensatori fa nel maggior numero dei casi adottare quelli a dielettrico solido (mica) poichè di dimensioni molto piccole, anche per elevate tensioni di lavoro e perchè il rendimento totale è ridotto in modo addirittura trascurabile fino per le più piccole potenze.

Il condensatore fisso deve in ogni caso rispondere agli stessi requisiti accennati per quello variabile. In più deve avere le varie placche ben

pressate assieme al dielettrico che le separa, poichè data la notevole potenza, esse sono soggette a grandi forze di attrazione e repulsione fra loro (v. pag. 191).

Per evitare ciò si sono cercati vari artifici fra i quali si può citare il sistema di comprimere ad altissima pressione sottili fogli di stagnola sulle lastrine dielettriche di mica, o quello di usare placche rigide di per sè stesse, pure fortemente pressate assieme al dielettrico che le separa. La costruzione può anche essere facilmente eseguita dall'esperimentatore, adottando tipi più semplici.

Spogliando dalla gelatina vecchie lastre fotografiche e usando armature di stagnola applicata a queste con gomma lacca si possono costruire condensatori di capacità anche elevata.

Il rendimento di questi non è tuttavia buono sia per l'imperfetto dielettrico sia e specialmente per il movimento delle armature quando sono soggette ad alte tensioni, ma tuttavia la semplicità di costruzione li fa spesso adottare.

I condensatori che debbono essere attraversati dalla totalità della corrente *AF*, dei quali abbiamo visto l'inserzione nei vari circuiti, è preferibile siano meglio costruiti e di maggior rendimento. Dato poi che la capacità necessaria quando la frequenza è elevata, è molto piccola, la loro costruzione è ancora semplice e alla portata di tutti.

Così si potranno usare lamine di rame o ottone di 4 o 5 decimi di mm. separate con mica della migliore qualità e ben pressate fra loro.

I condensatori di griglia, quelli sul secondario del trasformatore di accensione, ecc. che non sono nel maggior numero dei casi soggetti ad elevate tensioni, possono essere usuali condensatori di ricezione, purchè isolati in modo perfetto, ben stabili e con placche non troppo sottili.

Il complesso trasmettitore funzionerà quasi sempre anche usando le più scadenti ed irrazionali capacità; con perdite più o meno grandi, ma in ogni caso notevoli. Queste perdite sono rese palesi da riscaldamenti, rumori ecc., quando si usano potenze elevate; ma quando la energia oscillante è poca, è impossibile identificarle con facilità, sebbene possano rappresentare buona parte di questa.

Ciò prova ancora una volta come i piccoli trasmettitori abbiano bisogno di cure uguali e spesso maggiori dei grandi.

Le lampade oscillatrici. — Una buona lampada ionica ben costruita e studiata non ha che il difetto di durare relativamente poco. Ora questa durata, già breve di per sè stessa, viene quasi sempre diminuita *volontariamente* da chi avrebbe interesse ad aumentarla. Così la

vita di un buon triodo da qualche migliaio di ore si riduce a qualche centinaio e molto spesso a qualche decina soltanto.

Ciò è dovuto specialmente al modo di esperimentare e alla potenza impressa molto superiore al normale.

Le lampade del commercio sono classificate secondo la potenza che può dissipare, riscaldandosi, la loro placca senza pregiudicare la durata e il buon funzionamento.

Inoltre ogni costruttore suggerisce la tensione normale di lavoro agli estremi del filamento e da imprimere sulla placca. Seguendo scrupolosamente questi dati, la vita della lampada (filamento tungsteno) si potrà aggirare fra le 500 e le 1000 ore al massimo, mentre riducendolo del 5-10 per cento essa sarà più che raddoppiata. Non si comprende quindi come dato l'alto costo di acquisto di un triodo, si consideri così poco la sua durata. Infatti sappiamo che basta un aumento di tensione al filamento del 3 per cento per ridurre la durata alla metà e del 10 per cento per renderla 4-5 volte minore.

Così un filamento costruito per durare 1000 ore con 6 volta di tensione durerà nelle migliori condizioni 200-250 ore se si aumenta la tensione a 6,6 volta.

A mio parere nella scelta di un triodo trasmettitore da usare per trasmissione esperimentale con onde corte si deve cercare che la sua potenza di dissipazione sia almeno 60 per cento di quella che si desidera consumare, così che aumentando il rendimento il carico venga sempre più diminuito.

Per onde molto corte occorre aumentare ancor più questa percentuale fino al 70-80 per cento, poichè il rendimento del triodo va gradualmente abbassandosi.

In questo modo si ha anche il grande vantaggio di una stabilità molto grande della frequenza generata.

Come semplice particolare, supponiamo di voler consumare 200 watts. Per onde fino a 30 metri la lampada necessaria secondo i precedenti suggerimenti dovrebbe avere una potenza di dissipazione di 100-120 watts, e funzionerebbe in condizioni normali quando il rendimento del complesso trasmettitore fosse del 40-50 per cento. Ma un rendimento di questo genere è il minimo che si possa desiderare e sarà quindi molto facile aumentarlo, specialmente per onde più lunghe. Ora qualsiasi aumento di rendimento permette, mantenendo costante la potenza consumata, di diminuire il carico sulla lampada, l'accensione del filamento e quindi di aumentarne la durata. Non è conveniente nè sempre possibile una diminuzione di accensione oltre il 10-15 per cento dal normale, nè per questo la vita della lampada aumenterebbe di molto.

Praticamente una riduzione del 5-10 per cento è quanto di meglio si possa desiderare. Altre precauzioni da seguire per prolungare la vita delle lampade sono:

— Evitare l'accensione *brusca* dei filamenti, ma eseguirla a mezzo di adatto reostato.

— Durante prove ed aggiustamenti ridurre sempre la tensione di placca a metà o a un terzo del suo valore normale.

Questo per quanto riguarda il problema economico tanto più importante quanto più la potenza è elevata.

Nella scelta del triodo oscillatore è bene tenere presenti le principali caratteristiche alle quali deve soddisfare, e cioè: capacità interne relativamente piccole, placca bene dimensionata e specialmente *estrema rigidità dei vari elettrodi.* Molto spesso infatti microscopiche variazioni fra le distanze mutue di questi, dovute ad attrazioni elettrostatiche, causano inspiegabili variazioni nella frequenza generata, come è stato provato con sistematiche ricerche. Nella generazione di onde corte la lampada che più facilmente oscilla e che meglio si comporta è senza dubbio quella a filamento ricoperto di ossidi funzionante a bassa temperatura. Essa ha anche il vantaggio di una durata molto maggiore se ben trattata e senza sorpassare la tensione normale di placca. In commercio si trovano buoni triodi per trasmissione per potenze variabili dai 2-3 watts ai 5 kw. con prezzi rispettivamente da 50 lire a 10 mila ciascuno.

La pratica ha classificato le emissioni con onde corte a seconda della loro potenza ; così diconsi stazioni a piccola, media e grande potenza quelle che dispongono fino 100-200, 1000, 10000 watts rispettivamente. Le stazioni oltre i 10 kw diconsi ultra-potenti e raggiungono finora potenze da 25 ai 70-80 kw. al massimo.

Noi ci occupiamo delle due prime categorie, e specialmente della prima come la più atta alla ricerca e allo studio generale e nello stesso tempo la più economica e realizzabile.

I triodi adottati negli impianti e nelle costruzioni che verrò esponendo, impianti tutti da me esperimentati con buon successo, sono fra i migliori del commercio ed hanno una potenza di dissipazione sulla placca da 1-2 a 500 watts.

Resistenze. — Nel funzionamento di un triodo oscillatore la parte più delicata e dalla quale dipendono risultati buoni o cattivi, è quella esercitata dal circuito di griglia. Nel secondo capitolo si è accennato all'importanza dell'eccitazione della griglia con un potenziale alternativo adatto sia per valore che per fase, come pure alle necessità di un deter-

minato *potenziale negativo continuo* applicato sulla griglia per raggiungere il rendimento migliore.

La pratica ha provato che il modo migliore per imprimere questo potenziale sulla griglia è quello di usare una batteria o una dinamo di tensione adatta. Ma ciò non è sempre possibile, specialmente quando la tensione negativa di griglia deve essere elevata. Si ricorre allora al metodo del condensatore e della resistenza (già esaminato, v. pag. 341).

La resistenza di griglia va inserita in parallelo al relativo condensatore, come in un comune raddrizzatore.

Il suo valore varia a seconda del triodo, del condensatore e della frequenza. Per questo è quasi sempre preferibile poterla variare entro i limiti necessari. Una resistenza continuamente variabile da qualche migliaio a 20 mila ohms e *capace di sopportare la corrente di griglia* è sufficiente per quasi tutte le applicazioni. Essa può essere costruita facilmente utilizzando dei conglomerati speciali di carbone che si usano negli impianti di protezione delle linee elettriche industriali, mettendone in circuito la porzione adatta a mezzo di morsetti.

Chi desidera una resistenza continuamente variabile può procedere in questo modo: si segano al tornio tanti dischetti di 4-5 mm. da un bastone di conglomerato di 2-3 mila ohms di resistenza che abbia un diametro di 20-25 mm.

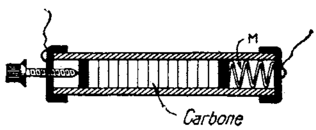


Fig. 480.

Si infilano quindi questi dischetti in un tubo possibilmente incombustibile assieme alla molla *M* (vedi fig. 480); quindi a mezzo della vite *V* si comprimono fino a raggiungere la resistenza necessaria per il miglior funzionamento.

Adottando gli stessi conglomerati di carbone si può costruire una resistenza semi variabile collegandoli come un comune reostato a bottoni; ma in questo caso l'insieme risulta voluminoso.

Si può costruire la resistenza con filo di argentana, ferro-nichel ecc., isolato e avvolto su una sottile lamina, in modo che per ogni spira vi siano due sezioni vicinissime e in senso contrario. Prescindendo dalla difficoltà di trovare il filo resistente di sezione adatta e il costo d'acquisto, questo sistema è senza dubbio uno dei migliori per la costanza che assicura.

Un metodo molto semplice è quello di usare delle comuni lampadine d'illuminazione come resistenze; però anche in questo caso si ottiene un insieme voluminoso. Occorrono lampadine per tensioni elevate (150-300 volta) di debole candelaggio e a filamento di carbone.

Esse non debbono troppo riscaldarsi durante il funzionamento (quando l'emissione è telegrafica), perchè la resistenza diminuirebbe di molto. Questa particolarità è il principale difetto che limita l'uso di questo semplice sistema. La lampada a « carbone » diminuisce di resistenza col riscaldamento, mentre succede il contrario per quella « metallica ». Se allora si combinano nello stesso gruppo lampade delle due specie in adatta proporzione, si può neutralizzare la variazione di resistenza. Questo dispositivo può essere efficacemente sfruttato nel caso dell'emissione telefonica. Si è infatti notato come per avere una buona riproduzione occorre che i suoni molto forti al microfono non producano una proporzionale variazione nella corrente d'aereo, ma bensì una variazione minore e come dovrebbe succedere il contrario per quelli deboli (vedi modulazione).

Ora noi possiamo inserire sul circuito griglia della lampada oscillatrice una resistenza a lampada del tipo menzionato, nella quale predomini per esempio l'effetto delle lampade « metalliche ».

Allora tutte le volte che per un intenso suono al microfono la corrente di griglia tende a crescere, il riscaldamento delle lampadine e il conseguente aumento di resistenza, la limita in modo più o meno spiccato a seconda delle caratteristiche del gruppo di lampadine.

Praticamente questo sistema si presta a dare ottimi risultati quando la potenza è abbastanza notevole (200-500 watts), poichè altrimenti la corrente di griglia sarebbe troppo esigua per determinare il riscaldamento delle comuni lampadine del commercio. Esso si realizza facilmente montando una decina di portalampade per due gruppi in serie o parallelo a seconda della resistenza desiderata (vedi fig. 481), quindi con un certo numero di lampadine delle due specie e di vari candelaggi si variano le caratteristiche dell'insieme fino ad ottenere la più perfetta riproduzione al ricevitore.

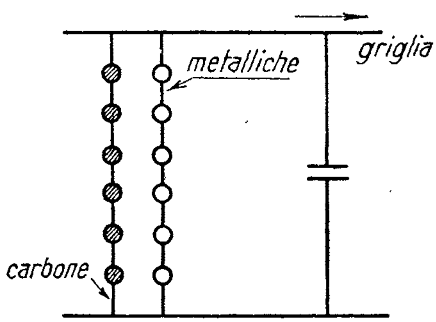


Fig. 481.

La migliore temperatura di funzionamento è un arrossamento molto debole quando non si parla al microfono: la luminosità varia poi fedelmente colle variazioni della voce e della musica durante la trasmissione.

Un effetto analogo può ottenersi inserendo come resistenza lo spazio placca-filamento di un triodo e regolando l'accensione in modo che un

aumento troppo forte della corrente di griglia non possa aver luogo, per la sopravenuta « saturazione ». Questo tipo di resistenza è stato usato felicemente anche per l' emissione telegrafica, perchè permette una efficace regolazione col solo variare la temperatura del filamento. Il modo di inserzione è dato dalla fig. 482.

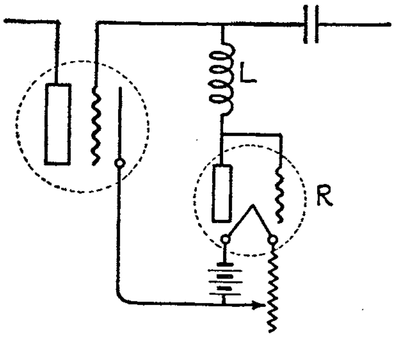


Fig. 482.

Il collegamento griglia placca può essere diretto o eseguito attraverso una impedenza elevata quando si desidera una manipolazione pura (fig. 483).

Il valore della corrente di griglia non deve mai eccedere un decimo o al massimo un ottavo di quello della corrente di placca. Una corrente più elevata dà luogo alla produzione di armoniche intense, e ad un riscaldamento eccessivo della placca e della griglia stessa senza alcun vantaggio che lo possa giustificare.

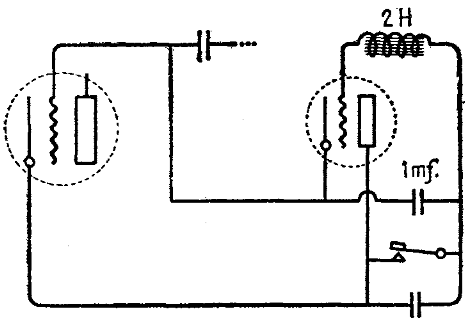


Fig. 483.

Istrumenti di misura. — L' istrumento fondamentale in un complesso trasmettitore è quello capace di rivelare la presenza delle oscillazioni.

Nella pratica si usa in modo speciale il misuratore di corrente, cioè lo *amperometro*. Esso è pressochè indipendente dalla frequenza della corrente che lo attraversa, poichè le sue misure sono basate sul *riscaldamento* che questa corrente produce. Vi sono principalmente due tipi molto usati.

Il primo detto *termico o a filo caldo* utilizza la dilatazione di un filo sottile per muovere a mezzo di un moltiplicatore un indice sul quadrante. Questi istrumenti non si prestano a misure dirette oltre di 30-40 amperes e sono molto usati per correnti fra 0-1 e 10 amperes.

L' altro tipo detto *termoelettrico o a coppia* utilizza il calore svolto dalla corrente per riscaldare la saldatura di una minuscola pila termoelettrica. La debole corrente così generata viene alfine rivelata da un comune galvanometro.

Questi tipi meno economici degli altri, si prestano però ad una vasta gamma di misura che può andare da qualche decina di microamperes alle centinaia di amperes, non subiscono delle variazioni di temperatura ambiente, non hanno inerzia nella misura e sopportano senza deteriorarsi un carico anche triplo del normale per breve tempo.

Tuttavia per le piccole portate (fino a 3-4 amperes) ambedue i tipi sono egualmente apprezzati (vedi misure, parte 5ª).

L'amperometro si inserisce generalmente sul circuito irradiante, ma la sua misura deve essere considerata in modo particolare. Un massimo della corrente d'aereo rappresenta un massimo di rendimento soltanto quando *tutte* le caratteristiche del sistema sono rimaste invariate durante le precedenti misure. (Così quando la lunghezza d'onda, l'accoppiamento coll'antenna, il modo di operazione di questa ecc. sono rimaste costanti e la variazione si è effettuata soltanto per portare il triodo nelle migliori condizioni di funzionamento).

Praticamente però è molto difficile e spesso impossibile mantenere costanti tutti i necessari fattori, quindi *l'indicazione dell'amperometro è più qualitativa che quantitativa* e in ogni modo vaga ed approssimata.

Infatti il cambio di frequenza, d'accoppiamento ecc. hanno per effetto una variazione della « resistenza d'aereo » e quindi della corrente che lo percorre.

All'ampermetro d'antenna si debbono in gran parte i difetti che si incontrano nelle trasmissioni private. Infatti per vedere aumentare la sua variazione si sovracaricano le lampade, si stringono gli accoppiamenti, si aumenta la corrente di griglia, con danno economico e specialmente con riduzione del rendimento. La maggiore indicazione che si nota forzando le lampade o l'eccitazione di griglia può essere in parte (e spesso in gran parte) dovuta ad oscillazioni armoniche nocive generate assieme alla principale, alle quali l'istrumento risponde ugualmente; spesso un aumento di corrente è cagionato da un circuito assorbente vicino; così come una diminuzione può indicare un rendimento dieci volte maggiore.

Data la natura delle misure l'ampermetro potrebbe essere sostituito senza danno con un indicatore qualsiasi: una lampadina per esempio. La corrente massima d'antenna si ha sulla fondamentale; l'ordine di grandezza di questa per onde inferiori ai 150 metri varia da qualche decimo a una decina di amperes per stazioni di piccola e media potenza.

Operando l'antenna su un'armonica la corrente va rapidamente diminuendo coll'ordine di questa: essa varia, nei casi considerati, da qualche millesimo a uno-due ampere.

La tendenza odierna di trasmettere su armonica consiglierebbe l'acquisto di un ampermetro che dia tutta la scala con un decimo o al massimo con un ampere, poichè data la natura qualitativa dell' indicazione non riuscirebbe per nulla dannoso shuntarlo, nel caso di misure di correnti più elevate (1).

Molto più importante di quello d' aereo è un istrumento capace di misurare la corrente al filamento.

Esso potrebbe essere un comune ampermetro se il filamento non andasse assotigliandosi coll' uso: si preferisce quindi quasi sempre il voltmetro che permette di mantenere la temperatura costante anche dopo un lungo uso.

La scala del voltmetro da adottarsi sarà il doppio del normale in modo che l' indice utilizzi la parte centrale più ampia e precisa (nel caso degli istrumenti a ferro mobile necessari per la natura della corrente).

Esso si collega direttamente agli estremi del portalampada in modo da avere una misura esatta.

Per le lampade a filamento ricoperto di ossidi è più utile lo ampermetro, poichè il filamento rimane inalterato anche per lunghi periodi di funzionamento a ragione della sua bassa temperatura (v. pag. 101).

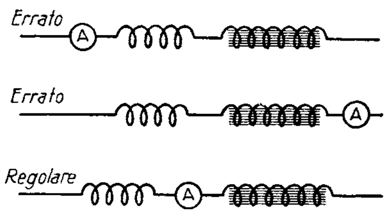


Fig. 484.

Gli istrumenti misuratori delle correnti di placca e di griglia, dei quali si può senza difficoltà fare a meno, sono di aiuto prezioso sia per la messa a punto dell' insieme che per eseguire eventuali misure.

Essi sono milliampermetri a bobina mobile, e quindi la loro scala è uguale in tutta l' estensione. Ciò permette letture precise in qualunque punto di questa, quindi la portata dell' istrumento può essere molto maggiore del normale senza danno.

Il milliamperometro di placca va inserito sempre prima della bobina di blocco e dopo l' eventuale filtro (v. fig. 484), mentre quello di griglia va sempre shuntato con un condensatore fisso.

L' indicazione del milliamperometro a bobina mobile nel caso della alimentazione con *CA* o con corrente raddrizzata non filtrata non è giusta; occorre allora usare un milliamperometro a ferro mobile, ma anche in questo caso vi sono notevoli errori. Se non si dispone di un

(1) Altri dati sulla misura di correnti *AF* potranno trovarsi nell' ultima parte.

istrumento termico è conveniente fare la media delle letture per avere una buona approssimazione.

Infine un voltmetro ad *AT* è utile nella misura della potenza di alimentazione.

Dato l' esiguo valore della corrente di placca, il consumo di un comune voltmetro è nel caso di piccole potenze paragonabile a quello del gruppo trasmettente stesso. Per questa ragione occorre un istrumento che assorba a scala completa una frazione di milliampere o al massimo qualche milliampere.

L' ideale sarebbe un voltmetro elettrostatico, del quale parleremo più diffusamente nel capitolo delle misure.

Nella trasmissione telefonica sarebbe utile potere disporre di istrumenti di misura nei circuiti della lampada modulatrice e specialmente al filamento, nel circuito placca e in quello di griglia. Queste misure possono effettuarsi anche soltanto una volta, durante la messa a punto degli apparecchi, utilizzando gli istrumenti della lampada oscillatrice.

Accoppiamento coll' aereo. — Dicesi accoppiamento d' aereo il sistema a mezzo del quale si trasla in questo l' energia prodotta dall' oscillatore.

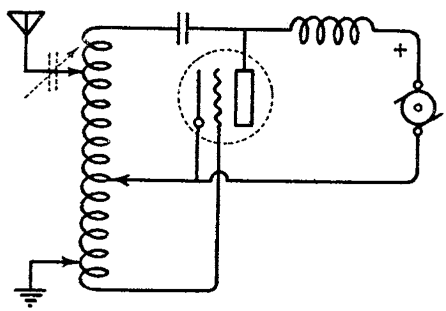


Fig. 485.

Esso può essere realizzato collegando l' oscillatore all' antenna direttamente o a mezzo di capacità o induttivamente. Il primo si dice *accoppiamento diretto*, l' ultimo *accoppiamento indiretto*, l' altro può appartenere ad ambedue le categorie a seconda del valore della capacità d' accoppiamento.

L' accoppiamento diretto, tipicamente rappresentato dalla fig. 485, presenta sugli altri molti svantaggi, i principali dei quali sono:

— Emissione risultante poco sintonica.

— Facile traslazione all' aereo degli impulsi dovuti alla manipolazione.

— Influenza dell' aereo su la frequenza generata e quindi dipendenza di questa da eventuali sue variazioni.

Per queste ragioni esso è veramente adottato nella trasmissione con onde corte e soltanto allorchè si può disporre di un aereo perfettamente rigido e sottratto ad ogni influenza esterna.

Un primo passo verso il miglioramento consiste nell' inserire sull' an-

tenna un condensatore variabile non molto grande (punteggiato). Questo deve avere minime perdite e sufficiente isolamento. Tuttavia, a meno di non adottare valori minimi di capacità, i difetti dell'accoppiamento diretto vengono soltanto leggermente diminuiti.

Si ottengono risultati migliori collegando un condensatore simile al primo sul « contrapeso » o sulla « terra » (fig. 486).

Regolando opportunamente le due capacità è possibile rendere « simmetrico » il sistema radiante antenna contrapeso in modo che la corrente oscillante abbia lo stesso valore nei due rami; ciò è stato sperimentalmente trovato vantaggioso.

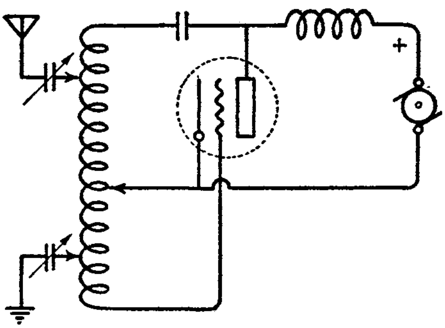


Fig. 486.

D' altra parte, se le due capacità sono molto piccole, le influenze esterne sono meno sentite e l' emissione risulta più sintonica e più pura. La facilità di variare l' onda, sempre restando nelle migliori condizioni di rendimento, aumentando o diminuendo simultaneamente le due capacità, è uno dei principali requisiti di questo sistema che è invero molto raccomandabile, almeno come inizio, data la certezza assoluta del suo funzionamento.

L' accoppiamento indiretto è senza dubbio il migliore. Esso permette un' emissione molto sintonica e pura, è soltanto leggermente influenzata da variazioni esterne del sistema radiante, e la frequenza dell'emissione dipende pressochè esclusivamente dall' oscillatore e dal suo circuito.

La corrente nel circuito locale o primario raggiunge valori elevati, quindi l' induttanza deve avere, in questo caso, dimensioni più ampie e così dicasi del condensatore in derivazione su questa.

L' accoppiamento deve essere *molto* lasco, anche se per questo la corrente d'antenna avesse a diminuire notevolmente. Così il secondario si potrà allontanare dal primario a piacere e fino ad ottenere le migliori condizioni di stabilità.

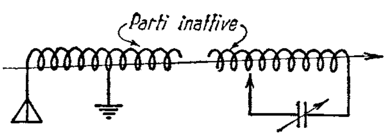


Fig. 487.

È preferibile che il secondario abbia poche spire completamente inserite nel circuito; quando fosse necessario lasciarne una porzione inattiva, è bene mantenere i collegamenti della figura 487. Desiderando aumentare la fondamentale del sistema

radiante, non è consigliabile adottare un' unica grossa induttanza, ma è meglio inserire in un punto dell'antenna (magari all' esterno) una nuova induttanza mantenendo invariata quella secondaria.

Quando si opera l' antenna sulla fondamentale o su un' armonica, succede molto spesso che l' emissione non segue fedelmente gli impulsi del tasto, ma tralascia alcuni segni. Ciò è dovuto alla instabilità dell' insieme quando i due circuiti sono in perfetta risonanza (su λ_o o su λ_n) e troppo accoppiati. Per ovviare a questo diffetto basta disaccoppiarli a sufficienza o meglio disaccordarli leggermente. La diminuzione della corrente d' aereo che ne seguirà non deve per nulla preoccupare. Per assicurarsi del buon funzionamento, quando non sia possibile eseguire prove con corrispondenti a distanza, si può controllare l' emissione a mezzo di un ricevitore locale o di un ondametro. Questo controllo è molto importante. Infatti durante la messa a punto della stazione, nella ricerca del rendimento più elevato ci si porta spesso nella zona di instabilità, perchè nelle prove si fa agire ininterottamente l' oscillatore. Le stesse precauzioni valgono per l' emissione telefonica se la modulazione è abbastanza profonda, poichè è frequente il caso che le oscillazioni cessino quando la corrente microfonica raggiunge alti valori.

Il numero delle spire secondarie non è critico e può variare per le frequenze che ci interessano fra uno o dieci.

Durante l' accordo si lascia fisso il secondario, quindi si varia il condensatore primario fino a trovare il punto di risonanza (massimo pronunciato di corrente d' antenna e brusca diminuzione di corrente placca). Si disaccorda quindi leggermente il primario (finchè la corrente d' antenna diminuisce del 5-10 per cento) ed eventualmente si diminuisce l' accoppiamento.

Con queste precauzioni, e dando forma rigida all' insieme radiante, l' emissione risulta delle migliori e spesso paragonabile a quella con eccitazione separata, della quale pure parleremo.

Ove sia necessario operare l' aereo su una lunghezza d' onda minore di quella risultante inserendo l' induttanza secondaria, si può raggiungere lo scopo con un condensatore in serie analogamente a quanto abbiamo da prima esaminato.

Risultati ancora migliori si otterranno disponendo una coppia di condensatori come alla fig. 488. In questo caso l' accordo al primario può eseguirsi con prese intermedie sull' induttanza, utilizzando il condensatore nell' altro circuito.

Nel caso dell' accoppiamento con capacità abbiamo visto come riducendo di molto il valore di questa era possibile avvicinarsi alle caratteristiche dell' accoppiamento indiretto.

Ciò permette anche di alimentare l'antenna a distanza senza danno con una vera e propria linea ad alta frequenza, qualità senza dubbio preziosa, specialmente nel caso della trasmissione con onde corte, dove spesso si è costretti ad infelici sistemazioni per poter raggiungere in modo abbastanza razionale, l'oscillatore con la discesa d'antenna.

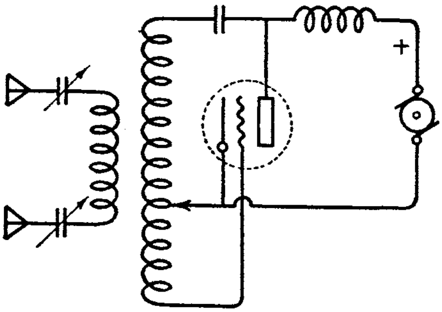


Fig. 488.

Praticamente si procede nel seguente modo: Si congiunge all'esterno, l'aereo al contrapeso o alla terra sia direttamente che attraverso una induttanza (dove occorre aumentare la fondamentale, vedi figura 489).

Si collega quindi il sistema così realizzato al trasmettitore a mezzo di un filo qualunque che porta inserito un condensatore di piccolissima

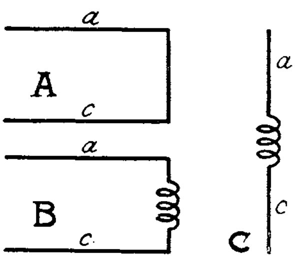


Fig. 489.

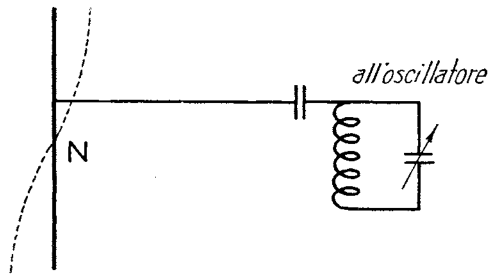


Fig. 490.

capacità. La lunghezza di questo filo e la sua sistemazione non influisce sul funzionamento.

Soltanto occorre che la congiunzione col sistema radiante sia fatta al di là del punto nodale (vedi parte 3ª) ed adattata fino ad ottenere i migliori risultati (vedi fig. 490). Per fare questo occorrerebbe disporre di un indicatore all'esterno sul filo d'aereo, almeno per le prime prove, poichè in seguito è possibile accorgersi della risonanza considerando il milliamperometro di placca. Questa necessità è facilmente realizzabile quando l'antenna è vicina e accessibile, ma diventa difficile nel caso di un'antenna elevata o lontana. Senza considerare il caso di un vero amperometro, l'indicazione del quale viene seguita con un cannocchiale, il metodo più semplice è quello di inserire nel punto nodale una lampadina ad incandescenza che possa illuminarsi con la corrente *AF*.

Ciò richiede che le misure si effettuino di notte, ma questa difficoltà

è di così breve durata da renderla trascurabile. Con l' antenna unifilare della figura 490, basta inserire la lampada nel punto N collegare il filo di alimentazione a breve distanza da questo (1-2 metri), quindi issare il tutto sui sostegni. Collegato poi il filo di alimentazione al trasmettitore, si varia la frequenza di questo fino a trovare la risonanza che sarà indicata da una brusca diminuzione della corrente di placca e dall' illuminarsi della lampadina esterna. Il sistema operato su armonica, in località dove era impossibile ottenere buoni rendimenti per la pessima ubicazione, ha dato risultati molto lusinghieri. Un caso tipico della sua utilità è dato dalla figura 491.

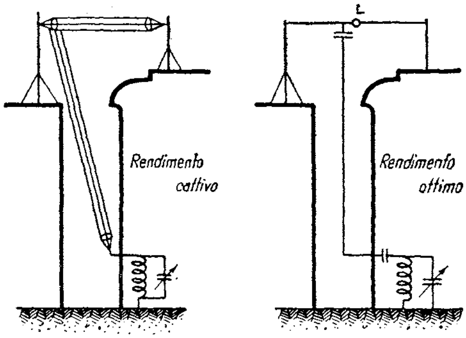


Fig. 491.

Esso è molto utile quando si esperimenta con onde cortissime, perchè permette di sottrarre il sistema radiante alla maggior parte delle nocive influenze esterne.

Lo stesso scopo e forse con risultati migliori si raggiunge usando un circuito di alimentazione ad alta frequenza vero e proprio. Abbiamo già notato a pag. 224 (parte 3ª), che se si pongono paralleli e vicini i fili d'aereo e contrapeso l' irradiazione non ha più luogo, perchè gli effetti opposti di questi si annullano e danno luogo alla produzione di onde stazionarie nei fili stessi. Ciò è stato ingegnosamente sfruttato per la misura della lunghezza d'onda (v. parte 5ª) ed ha ricevuto vasto impiego nel trasporto a distanza di energia AF.

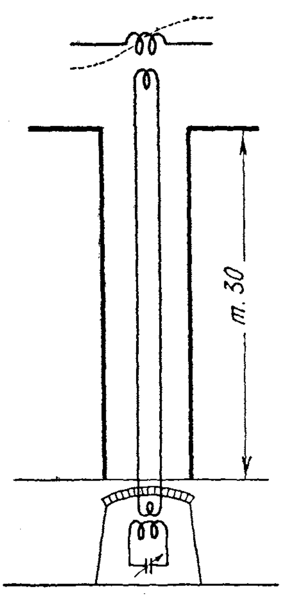


Fig. 492.

Ciò naturalmente può servire ad alimentare un' antenna lontana, anche operata su onda cortissima, in condizioni ottime di rendimento. Supponiamo che il trasmettitore sia nel sottosuolo di un elevato edificio e che si voglia irradiare un' onda di 10 metri. Anche utilizzando un' armonica elevata il rendimento sarebbe molto basso, poichè per ben 30 metri (v. fig. 492) l' aereo sarebbe schermato dall' edificio. Con un' adatta linea AF invece basta alla sommità della

costruzione una minuscola antenna, operata sulla fondamentale per portare il rendimento al massimo possibile.

Praticamente la linea *AF* si costruisce con filo di 1-2 millimetri tenendo i due conduttori a 20-30 cm. di distanza.

È utile che questi non passino molto vicini a corpi estranei (muri, parti metalliche) così che non abbiano troppo ad oscillare sotto l' azione del vento.

Il metodo più semplice per mantenere la distanza è quello di usare dei segmenti di *canna* bolliti in paraffina e tagliati alle estremità come alla figura 493, per ricevere i due conduttori.

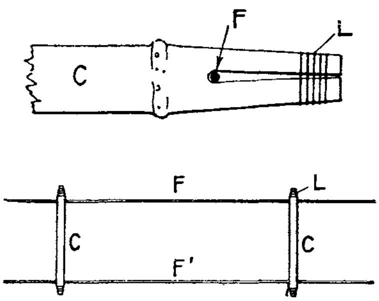


Fig. 493.

Esse si fisseranno di metro in metro per tutta la lunghezza della linea *AF*.

Questa terminerà alle estremità con due bobine di 2-4 spire da accoppiarsi rispettivamente all' oscillatore e al sistema radiante.

Spesso, specialmente per linee molto lunghe, può riuscire utile un certo « accordo » della linea stessa, e di ciò ci occuperemo nell' ultima parte.

Questo metodo di accoppiamento con un' antenna alta e ben situata è quanto di meglio si possa oggi realizzare nella trasmissione con onde corte.

L' eccitazione separata. — Ci sono ormai note le difficoltà da superare per mantenere invariate le « costanti » di un insieme trasmettitore e quindi la frequenza di questo.

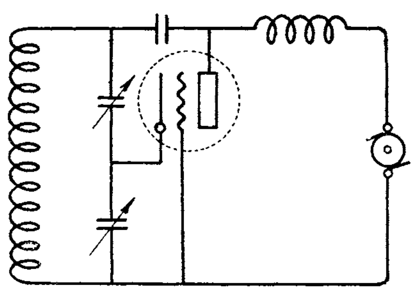
Ora con cura estrema di ogni minimo particolare, è possibile raggiungere con qualunque dei sistemi esaminati, una stabilità molto vicina ai limiti che la pratica odierna ci impone. Tuttavia piuttosto che dover soddisfare a tutte le esigenze che questa « cura estrema » richiede si è pensato più conveniente ricorrere all' eccitazione dell' oscillatore a mezzo di un generatore separato, le caratteristiche del quale siano rigorosamente mantenute costanti. In questo modo l' oscillazione è *forzata* e non può affatto dipendere dalle caratteristiche del sistema radiante, nè da quelle del triodo principale, nè da variazioni di tensione, ecc.

Abbiamo già parlato (v. cap. 2°) come il metodo della eccitazione

separata sia teoricamente migliore di quello ad autoeccitazione e come permetta di aumentare notevolmente il rendimento del triodo.

Da parte sua la pratica, sebbene abbia trovato questo sistema più costoso, più complicato e meno « flessibile » ai vari usi, ha dovuto però universalmente riconoscergli il vantaggio innegabile della costanza d' oscillazione.

La potenza dell' oscillatore primario potrebbe essere un' infima parte di quella del secondario o amplificatore poichè non ha che il compito di eccitare la griglia di questo. Tuttavia, prescindendo dal fatto che una maggior eccitazione di griglia aumenta il rendimento per la distorsione prodotta nella corrente di placca (v. pag. 337), si è trovato sperimentalmente che per avere una vera e sicura indipendenza da azioni esteriori, l' eccitazione deve essere molto intensa. Così si usa una potenza primaria di circa $^1/_3$ - $^1/_4$ di quella secondaria e molto spesso, specialmente nelle emissioni con altissima frequenza, ancora maggiore, tanto che non è raro il rapporto 1 : 1.


Fig. 494.

Nei casi generali però un oscillatore primario ben stabilizzato può controllare un' energia da due a quattro volte maggiore con ottimi risultati, anche per le frequenze più elevate.

Il circuito dell' oscillatore primario può essere uno dei tanti già esaminati; tuttavia i più semplici e che si prestano ad una più facile applicazione sono quelli delle fig. 337 e 494 che il lettore conosce ormai bene.

Per evitare che piccole variazioni nella capacità interna della lampada producano variazioni di frequenza, è conveniente fare la capacità del circuito oscillante, grande, rispetto all' induttanza. Questa si fa rigida e ben fissata e così tutte le connessioni. Si usa alle volte racchiudere l' oscillatore in una custodia metallica: ciò è utile per evitare accoppiamenti nocivi (v. pag. 491) ma raramente conveniente per un lavoro esperimentale; si avrà tuttavia cura di sistemare le varie parti in modo da sottrarlo il più possibile da eventuali azioni reciproche ed esterne. *Le vibrazioni meccaniche sono pure da evitare.*

Una volta sistemato e provato l' oscillatore primario, occorre amplificare la corrente oscillante prodotta, col triodo o col gruppo di triodi principali.

Per potenze non molto grandi, specialmente poi quando i due triodi hanno grandezze simili, si possono collegare direttamente le varie griglie (v. fig. 495) ed eventualmente inserire un condensatore variabile in *C*.

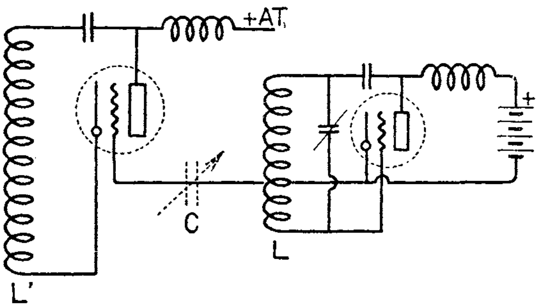
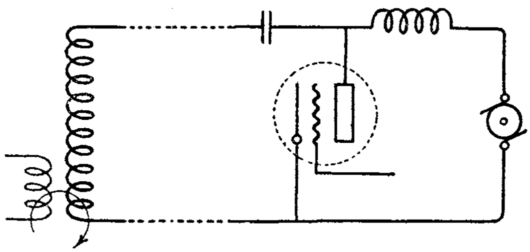


Fig. 495

Per potenze elevate è più conveniente potere disporre di una presa variabile sull'induttanza *L* per scegliere il punto di migliore eccitazione per la griglia successiva.

La bobina di placca L_1 è percorsa da correnti *AF* amplificate dello stesso ordine di grandezza della corrente continua di placca, quindi non vi è alcuna convenienza ad avvolgerla con filo grosso. Questa particolarità permette di poterla portare lontano dall'amplificatore senza alcun danno e fornisce quindi un nuovo sistema per alimentare un'antenna a distanza (v. fig. 496). L'accoppiamento con l'antenna è bene sia indiretto per una maggior facilità di operazione e in questo caso occorre che la induttanza secondaria sia di filo grosso per la corrente relativamente elevata che dovrà percorrerla.


Fig. 496.

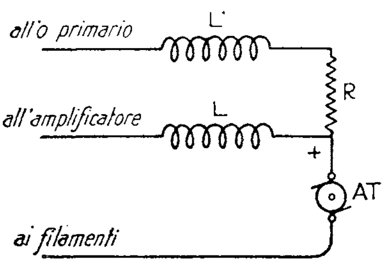


Fig. 497.

L'alimentazione delle varie lampade può farsi con le stesse batterie o generatori inserendo al caso delle resistenze (*R*) adatte, se le caratteristiche sono differenti (v. fig. 497).

La messa a punto dell'insieme presenta qualche difficoltà, ma diviene estremamente semplice dopo un poco di pratica: prima di tutto si esclude il circuito d'aereo allontanandolo dalla bobina di placca dell'amplificatore, quindi ci si assicura che l'oscillatore primario agisce nelle migliori condizioni (di stabilità più che di rendimento) in tutta la gamma d'onda

da coprire. A questo punto si mette in circuito l'amplificatore collegando direttamente la sua griglia a quella dell'oscillatore e variando il numero delle spire dell'induttanza di placca fino ad ottenere il migliore rendimento nella gamma desiderata.

La corrente di placca deve ridursi ad una frazione di quella normale e se essa è troppa o troppo poca occorre variare la resistenza di griglia. Si continua a ricercare il miglior rendimento spostando la presa di griglia sulla bobina dell'oscillatore e ritoccando ancora l'induttanza di placca.

A questo punto si può avvicinare il secondario d'antenna e variare il suo valore fino ad ottenere una buona corrente d'aereo sull'onda desiderata.

Volendo semplificare l'accordo si può inserire il condensatore sull'antenna o sul contrapeso.

Per le piccole variazioni non si avrà che a variare la frequenza dell'oscillatore primario, lasciando invariata ogni altra caratteristica del circuito.

La manipolazione si può eseguire sia sulla griglia che sul circuito *AT* dell'amplificatore, lasciando in funzione continua l'oscillatore primario, poichè ciò permette una maggiore chiarezza dei segnali e un rendimento migliore.

Una volta completato e messo in funzione il trasmettitore variando il condensatore d'aereo, si noterà una variazione della corrente oscillante, ma la frequenza della vibrazione irradiata rimarrà sempre la stessa.

L'amplificatore di potenza ad AF. — Quando l'energia da irradiare è notevole non è più possibile eccitare direttamente la griglia dell'oscillatore collegato all'antenna, perchè la grande potenza che in questo caso dovrebbe avere l'oscillatore primario, porterebbe inevitabilmente a piccole e nocive variazioni di frequenza nello stesso circuito di questo.

Occorre allora usare un oscillatore primario di potenza ridotta, funzionante quindi in perfette condizioni di stabilità e di carico ed amplificare, attraverso successivi stadi, la corrente *AF* da esso fornita, fino a renderla ampia a sufficienza per eccitare la griglia dell'oscillatore secondario.

È necessario quindi un vero e proprio amplificatore ad *AF* (vedi pag. 105). Le difficoltà, che nel caso di ricezione erano già notevoli, si presentano qui molto accentuate, specialmente per la facilità di autoscil-

lazione dei vari stadi che oltre a determinare nocive reazioni fra questi, diminuisce grandemente il rendimento totale.

È indispensabile allora un'efficace neutralizzazione.

Supposto il circuito della fig. 498 (assolutamente analogo all'amplificatore *AF* esaminato a pag. 111 nel caso della ricezione), possiamo ottenere un'efficace neutralizzazione inserendo un condensatore variabile (capacità da 10 a 50 micromicrofarad a seconda della lampada) fra la griglia e un estremo della induttanza di placca.

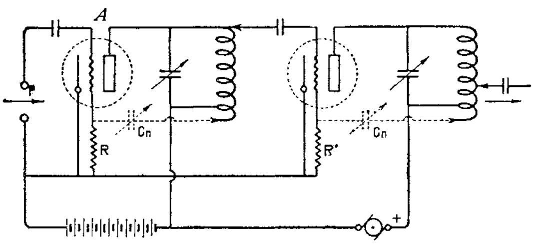


Fig. 498.

Occorre che la presa sull'induttanza sia variabile per trovare il punto più adatto per la neutralizzazione. Per sapere quando si raggiunge il punto di neutralizzazione vi sono vari sistemi: uno dei più semplici è facilmente realizzabile senza difficoltà.

Supponiamo di dover neutralizzare il primo stadio (fig. 499). Si inserisce un milliamperometro termico in *A*, quindi, mantenendo in funzione l'eccitatore di griglia (oscillatore primario) si toglie la corrente placca, mantenendo tuttavia l'accensione. Il milliampermetro in *A* accuserà tuttavia una corrente oscillante che se pur debole, rappresenta quella che attraversa le capacità interne della lampada. Si varia allora il condensatore neutralizzante, finchè *A* non accuserà alcuna corrente. È questo il punto cercato.

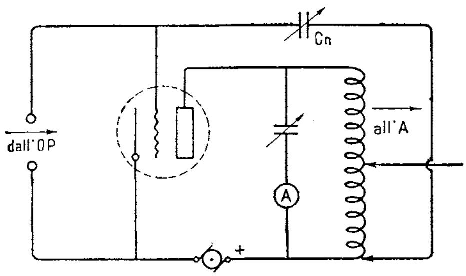


Fig. 499.

Più semplicemente si può procedere in questo modo: si varia *lentamente* il condensatore di neutralizzazione C_n e nello stesso tempo si muove avanti e indietro quello del circuito placca. Nel fare ciò si noteranno variazioni nella corrente placca *dell'oscillatore primario* che cesseranno non appena si saranno raggiunte le condizioni di neutralizzazione.

Un altro sistema si basa sull'uso del voltmetro elettrostatico (vedi parte 5ª). Collegandolo in parallelo alla bobina di placca *dopo aver tolto l'alimentazione*, esso non accuserà nessun potenziale sulla placca soltanto quando la neutralizzazione è completa.

Le capacità neutralizzanti debbono essere scelte con cura tanto maggiore quanto più si procede con l'amplificazione, perchè attraverso a queste è applicata tutta la tensione *AF*. Così, mentre la capacità del primo stadio immediatamente dopo l'oscillatore può essere simile a quelle usate in ricezione, ciò non è possibile (quando la potenza è notevole) per l'ultimo stadio che userà preferibilmente un piccolissimo condensatore variabile ad aria con poco dielettrico solido ben localizzato.

Un'altra precauzione molto utile per rendere più stabile il funzionamento dell'amplificatore è quella di proteggere con schermi metallici i vari stadi, così da evitare influenze reciproche fra collegamenti, induttanze, ecc.

Le dimensioni di ogni scompartimento schermato dovranno essere

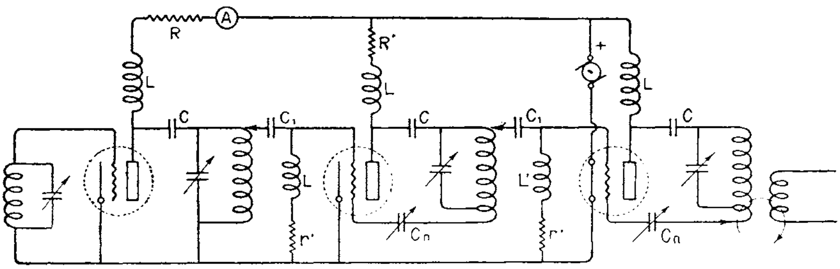


Fig. 500.

molto maggiori del necessario e si curerà la sistemazione delle varie parti (induttanze, lampade ecc.), affinchè esse restino il più possibile al centro e quindi distanti dalle pareti. Si ottiene un ulteriore miglioramento facendo passare al di fuori dello schermo tutti i conduttori d'alimentazione (filamento, placca ecc.) e derivandoli quindi nei punti necessari con connessioni corte e ben sistemate che penetrano nei compartimenti.

Allo stesso scopo è utile porre in parallelo ai filamenti delle capacità fisse come si disse a pag. 128, fig. 144.

Gli schemi d'amplificazione finora esaminati usano l'alimentazione in serie. L'alimentazione in parallelo da preferirsi almeno per gli ultimi stadi è ugualmente semplice (fig. 500). L'uso di differenti resistenze alle varie derivazioni di placca permette infine di alimentare con la tensione più adatta le varie lampade.

Un altro sistema non ancora usato nella pratica di trasmissione è quello a « reazione invertita », discusso a pag. 114 nal caso di ricezione, sistema che mi ha dato buoni risultati con potenze dell'ordine dei 100

watts. La realizzazione pratica non presenta alcuna difficoltà, purchè si disponga di uno spazio relativamente grande, affinchè i vari stadi siano ben lontani uno dall' altro.

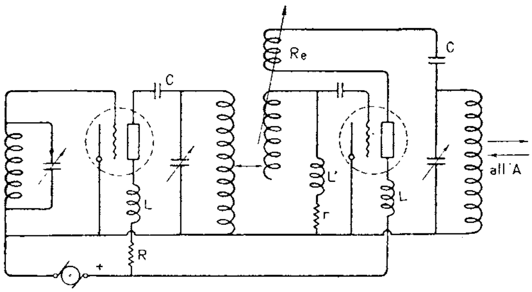


Fig. 501.

Praticamente basta inserire sia nel circuito griglia che in quello placca due bobine di poche spire ed accoppiarle nel senso adatto fino ad ottenere la necessaria neutralizzazione (fig. 501).

Lo accoppiamento deve essere naturalmente variato al variare della frequenza.

Amplificatori di armoniche. — La neutralizzazione preventiva è da preferirsi nella maggioranza dei casi, specialmente quando necessita racchiudere in uno spazio limitato il complesso trasmettitore.

È possibile tuttavia, quando lo spazio non manca, costruire amplificatori non neutralizzati ugualmente efficienti e stabili.

Il primo artificio escogitato è molto semplice ed efficiente e presenta l' unico difetto di richiedere un numero maggiore di lampade a parità di amplificazione.

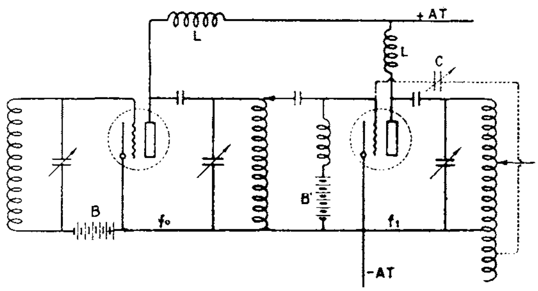


Fig. 502.

In esso i vari stadi non amplificano già la stessa frequenza, ma bensì frequenze multiple fra loro, così da rendere impossibile la interferenza fra uno e l' altro stadio. In altri termini dato il circuito della fig. 502, se l' oscillatore primario *O* funziona su una frequenza F_0, il secondo stadio viene sintonizzato su una frequenza F_1, così che l' eccitazione griglia è dovuta alla prima armonica di F_0, naturalmente presente nel circuito per il caratteristico comportamento dell' audion.

Il terzo stadio viene allora sintonizzato sulla prima armonica di F_1 e alla stessa guisa si procederebbe per un quarto e quinto stadio.

Il principale vantaggio di questo sistema sta nella facilità di produzione di onde molto corte ed estremamente stabili appunto perchè l'oscillatore primario funzionando a frequenze molto più basse può mantenere molto bene e a lungo le sue caratteristiche. Sebbene la neutralizzazione di questo tipo di amplificatore non sia necessaria, tuttavia essa può spesso aggiungersi con vantaggio coll'aiuto dei piccoli condensatori variabili (punteggiati in figura) che si sistemano e regolano nel modo già considerato.

Per portare il rendimento (necessariamente ridotto) di questo amplificatore ad un valore pratico, occorre accentuare il più possibile l'intensità delle armoniche.

All'uopo possono servire collegamenti dissimetrici; più lampade in parallelo per ogni stadio e specialmente un potenziale continuo adatto impresso sulle griglie.

Per quest'ultima ragione è necessario inserire delle piccole batterie (*BB'*) nel circuito griglia di ogni lampada, il potenziale delle quali possa venire variato fino ad ottenere i migliori risultati.

Controllo con oscillatori indipendenti. — I sistemi esaminati finora per amplificare cioè e quindi mantenere rigorosamente costante una frequenza generata da un debole oscillatore ben stabilizzato, presentano il singolare vantaggio di essere pressochè indipendenti dalle variazioni nelle caratteristiche dell'insieme.

Così durante il funzionamento l'uso di un'antenna piuttosto che un'altra, l'inserzione di induttanze, capacità ecc., non avrà nessun effetto sulla frequenza irradiata, se si esclude la naturale variazione di potenza traslata all'antenna, che in questo modo viene a verificarsi.

Ma una costanza entro limiti così vasti non è affatto richiesta in pratica. Nelle comunicazioni con onde corte le piccole variazioni di capacità ed induttanza che si verificano nei circuiti generatori e nel radiatore stesso non danno generalmente variazioni superiori a qualche migliaio di periodi.

Sarebbe quindi sufficiente per ottenere una trasmissione perfetta impedire qualsiasi variazione di frequenza entro questi limiti. Ciò è possibile in pratica utilizzando una proprietà dell'audion oscillatore cui ci siamo già riferiti a pag. 354, e cioè il sincronismo che due oscillatori sintonizzati su frequenze differenti, ma prossime, acquistano non appena siano sufficientemente accoppiati.

Basta allora costruire una serie di oscillatori auto-eccitati di potenza

gradualmente crescente, i quali vengano accoppiati in cascata, così da risentire tutti dell'effetto sincronizzatore del primo di debole potenza e ben stabilizzato.

Il circuito della fig. 503 richiede ben poche spiegazioni. Occorre anzitutto distinguere fra questo e quelli precedenti e notarne il comportamento assolutamente diverso. Infatti, mentre prima avevamo una amplificazione pura (l'energia di griglia di ogni lampada proveniva cioè dal circuito placca della precedente) e mentre l'auto-oscillazione dei singoli stadi ci riusciva di grande danno, in questo caso è l'auto-oscillazione stessa che mantiene costantemente eccitate le griglie dei vari oscillatori. Essi sono quindi soltanto collegati attraverso gli accoppiamenti reciproci e quindi a mezzo dell'effetto sincronizzatore.

È naturale quindi che quando la variazione di induttanza e capacità

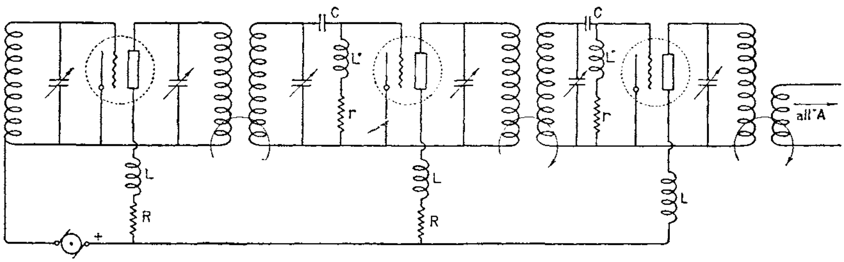


Fig. 503.

dei circuiti oscillanti è rilevante il sincronismo può essere mantenuto più difficilmente e soltanto diminuendo il rapporto fra le energie dei vari stadi. In altri termini supponendo ad esempio che quattro stadi amplificatori, le energie dei quali vadano crescendo come 20, 60, 180, 540, cioè con un rapporto da 1 a 3, riescano ben stabilizzati nel caso di un posto fisso usante una rigida antenna, può accadere che il rapporto riesca insufficientemente per un posto mobile o nel quale le caratteristiche d'antenna ecc. siano comunque variabili entro limiti vasti.

In questo caso sarebbe necessario diminuire il rapporto di potenza almeno per gli ultimi stadi riducendolo ad 1-2 o anche 1-1 in certi casi.

Il sistema presenta alcuni vantaggi su gli altri sia nei riguardi della facilità d'impianto e di regolazione, sia per il rendimento maggiore che permette (sempre però quando le variazioni da eliminare non sono molto grandi).

Infatti l'eccitazione indipendente delle griglie, che può essere al solito aumentata a piacere, permette una migliore utilizzazione del triodo,

come ben sappiamo (v. pag. 337), utilizzazione spesso incompleta nel caso dell'amplificazione pura per l'insufficiente eccitazione di griglia.

Il sincronismo può mantenersi anche usando le armoniche dell'oscillazione principale, così che anche in questo caso è possibile fare funzionare l'oscillatore primario su un'onda relativamente lunga e coll'uso di armoniche superiori successive stabilizzare un oscillatore finale ad altissima frequenza.

Messa a punto degli amplificatori. — Una volta sistemati i vari stadi occorre rendere molto simili le loro frequenze di risonanza, affinchè il sincronismo sia mantenuto con un buon rendimento.

Si parte sempre dall'oscillatore primario che si mette in funzionamento permanente alla frequenza desiderata o su un'armonica di questa. Si seguono le precauzioni ricordate a pag. 481, che in questo caso riescono più facilmente realizzabili a cagione della potenza relativamente piccola dell'oscillatore stesso, cercando che la placca della lampada non raggiunga mai una temperatura elevata (rosso scuro al massimo).

Le parti che costituiscono il circuito dell'oscillatore primario debbono essere molto rigide e i dielettrici scelti e sistemati in modo da non subire modificazioni sia pure impercettibili sotto l'azione del campo *AF*.

Racchiudendo tutto il complesso in una custodia metallica e sospendendo elasticamente quest'ultima, la stabilità dipende pressochè esclusivamente dalla costanza delle tensioni di placca e d'accensione.

Data l'entità esigua delle rispettive correnti è molto consigliabile ottenerle da batterie di accumulatori che permettono un'insuperabile costanza.

Quando l'oscillatore primario funziona perfettamente si passa al primo stadio di amplificazione: si procede immediatamente alla neutralizzazione se a ciò è stato provveduto, usando uno dei sistemi indicatori descritti a pag. 484; indi si accorda il circuito placca dell'amplificatore, finchè la corrente placca dell'oscillatore presenta una brusca diminuzione.

Durante questa operazione si regola la presa di griglia fino ad ottenere i migliori risultati, e cioè una eccitazione griglia sufficiente a portare al massimo il rendimento.

Una volta che i due triodi funzionano in modo soddisfacente si procede alla messa a punto del terzo stadio, e quindi eventualmente di un quarto e così via, operazione che richiederà maggiore cura ed attenzione per la aumentata potenza in gioco.

Per accorgersi se la frequenza amplificata da uno stadio qualunque dipende effettivamente da quella che gli proviene dallo stadio precedente si procede come segue: Si variano rapidamente i condensatori d'accordo osservando la corrente placca. Questa resta pressochè costante se le oscillazioni sono veramente *forzate*.

Questa verifica è importante, poichè molto spesso le correnti oscillanti nei circuiti degli amplificatori non sono dovute altro che all'autooscillazione di questi.

Nell'operazione su armonica si cerca anzitutto di portare alla massima intensità la frequenza multipla dell'oscillatore primario o del circuito amplificatore che immediatamente la segue.

Occorre all'uopo un istrumento indicatore: un ondametro qualunque che porti in serie un milliampermetro termico serve egregiamente: in mancanza di questo si può usare il sistema rettificatore descritto a pag. 260.

Infine per una semplicità ancora maggiore, specialmente quando è possibile disporre di un certo spazio attorno all'oscillatore, si usa un comune ricevitore (reso eventualmente meno sensibile) che una volta accordato sull'armonica desiderata si cerca allontanare durante le prove fino alla massima distanza possibile (1).

Man mano che si procede nell'amplificazione bastano mezzi più grossolani per rivelare l'armonica desiderata: così che negli ultimi stadi esse potranno individuarsi facilmente coi soliti sistemi usati nella pratica di trasmissione (lampade ecc.).

La messa a punto degli *oscillatori sincronizzati*, anzichè degli amplificatori, è molto più semplice.

Disposti infatti questi ultimi anche a distanza notevole fra loro, ci si accorge facilmente, variando l'accordo, dei punti di risonanza, osservando i milliamperometri di placca che deviano bruscamente quando due frequenze si incrociano. Verificato tuttavia con un ondametro che le varie frequenze sono uguali o esattamente multiple, si accoppiano i vari circuiti di griglia a quelli placca fino a notare una rilevante diminuzione della corrente che percorre questi ultimi.

Si ritocca ancora l'accordo, allentando o restringendo i vari accoppiamenti, finchè si raggiungono le migliori condizioni di stabilità e di rendimento (2).

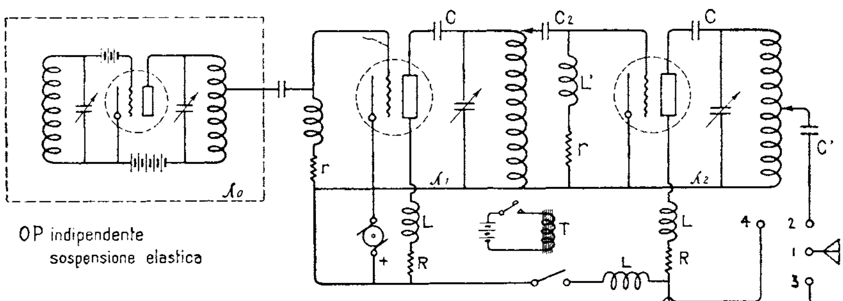
(1) Abbiamo già ricordato che uno dei metodi più semplici per esaltare le armoniche consiste nell'applicare sulla griglia una adatta tensione continua.

(2) Riguardo agli accoppiamenti specialmente su fondamentale, è utile non stringerli troppo per evitare la instabilità, specialmente nel caso di trasmissione telegrafica.

Per le stesse sue intrinseche proprietà il sistema non si presta affatto all' uso su lunghezze d' onda variabili come spesso è necessario in pratica. Una volta scelta l' onda di lavoro, e quindi accuratamente messo a punto l' insieme, è conveniente mantenerla e quindi adattare a questa il sistema radiante.

Tuttavia è facile ottenere senza difficoltà cambiamenti di lunghezza d' onda proporzionali uno all' altro o, in altri termini, secondo le armoniche dell' oscillatore e dell' antenna.

A parità di potenza irradiata occorre un triodo amplificatore in più per ogni aumento di frequenza: così se in condizioni normali si dispone di 100 watts su 60 metri d' onda, occorre un nuovo triodo eccitato in



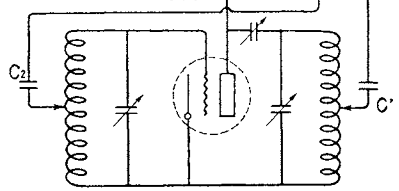


Fig. 504.

griglia dalla prima armonica di questa, per avere una potenza dello stesso ordine su 30 metri.

Ciò non significa d' altra parte che ogni *armonica* richiede un nuovo triodo, poichè molto spesso esistono o possono prodursi armoniche di ordine elevato più intense di quelle d' ordine basso.

Così nel nostro caso esaltando la 3ª e 4ª armonica della penultima lampada sarebbe possibile ottenere potenze sui 100 watts tanto su 20 che su 15 metri.

Riepilogando, con un complesso ad oscillazione obbligata è possibile variare la lunghezza d' onda emessa con l' andamento delle armoniche: per far ciò conviene mantenere invariato l' insieme che produce la frequenza più bassa e aggiungere al caso a questo un nuovo oscillatore, il quale possa venire eccitato in griglia da una qualsiasi armonica di questa frequenza.

Supponendo ancora il complesso di 100 watts capace di funzionare su 60, 30, 20 e 15 metri, possiamo utilizzare il circuito della fig. 504,

dove l'oscillatore è una lampada di qualche watt che sintonizza i due triodi maggiori di 40 e 120 watts rispettivamente. L'ultimo triodo è infine accoppiabile sia direttamente all'antenna per l'onda di 60 metri sia all'ultimo oscillatore (120 watts) che sfrutta un'armonica di questa per irradiare onde di 30-20 e 15 metri ben stabilizzate.

La manipolazione è utile eseguirla sull'ultima lampada o per lo meno sulle ultime dell'amplificatore, lasciando il resto in funzionamento continuo. Le difficoltà che si esperimentano con trasmettitori comuni sono in questo caso molto diminuite, così che nella maggioranza dei casi una manipolazione diretta sull' alta tensione, senza alcuna precauzione, è perfetta sotto ogni rapporto. Si usa all' uopo un adatto *relay* che comanda la corrente placca degli ultimi triodi amplificatori (fig. 504).

Un altro vantaggio dell'eccitazione separata si ottiene alimentando i primi triodi (alta tensione ridotta) con corrente continua assolutamente pura: in questo caso la corrente principale (alta tensione) anche se malamente filtrata viene grandemente stabilizzata tanto che spesso non è distinguibile dall'altra.

Oscillatori a cristallo. — Sappiamo ora che è possibile mantenere la frequenza dell'oscillatore collegato all'antenna, praticamente sincrona con quella dell'*OP*.

Sebbene nei limiti pratici si possa arrivare a mantenere una costanza pressochè assoluta di questa frequenza, tuttavia il grande numero di fattori che tendono a modificarla, rende notevoli le difficoltà da superare.

Comandare l'*OP* con un nuovo oscillatore capace di mantenere rigorosamente la sua frequenza senza essere influenzato da agenti esteriori, è la soluzione semplificata del problema.

L'oscillatore ideale che presenta questa ipotetica indipendenza è stato trovato in natura: esso è un semplice *cristallo*.

Sono noti, da quasi cinquanta anni, per opera dei Curie, gli *effetti piezoelettrici* che presentano alcuni cristalli, la struttura dei quali non è simmetrica. Il sale di Rochelle, lo zucchero di canna, il quarzo, la tormalina e molte altre sostanze diconsi piezoelettriche, perchè sottomesse a compressione presentano una carica elettrica [1]. Inversamente si deformano meccanicamenre sotto l'azione di una carica elettrica.

[1] Le stesse sostanze presentano l'*effetto piroelettrico* cioè si caricano elettricamente quando sono riscaldate e raffreddate. Si suppone tuttavia che questo non sia che una conseguenza del primo.

Queste deformazioni sono microscopiche, ma rivelabili con facilità.

Supponiamo che, applicato ad un cristallo un certo potenziale, esso si « comprima ».

Quando la f. e. m. viene a mancare il cristallo comincia a « dilatarsi » per ritornare alle sue primitive dimensioni. Una volta raggiuntele, l'energia immagazzinata gli impedisce di ritornare allo stato di quiete, quindi continua a dilatarsi fino a raggiungere un massimo simile in valore assoluto al massimo di comprensione. Sempre tendendo allo stato di quiete, ricomincia a comprimersi sorpassando di nuovo le dimensioni normali, finchè, dopo un certo numero di « *oscillazioni* », raggiunge finalmente la posizione iniziale ».

Il meccanismo del fenomeno è identico a quello di un corpo elastico che ritorna alla posizione di riposo, attraverso un certo numero di oscillazioni, dopo che ne sia stato spostato.

Il cristallo vibra cioè con frequenza propria e determinata.

Si è trovato infatti che un *cristallo piezoelettrico vibra con frequenza esclusivamente dipendente dalle sue dimensioni geometriche*; quindi una volta fissate e rese invariabili queste, anche la frequenza di oscillazione resta fissata ed invariabile.

Le oscillazioni del cristallo si smorzano, naturalmente, come tutte le oscillazioni; per renderle persistenti, sappiamo che occorre periodicamente eccitare l'oscillatore stesso.

Gli artifici che permettono ciò e i vari sistemi oggi adottati sono l'argomento che vogliamo ora esaminare.

Oscillatori a squarzo. — I primi cristalli considerati dai fisici e che più evidentemente presentavano effetti piezoelettrici, furono quelli del sale di Rochelle. Ma poichè questi hanno una struttura debole e le loro dimensioni non possono rendersi stabili in modo assoluto e indipendente da cause esterne, si è generalmente ricorso al *cristallo di quarzo* che sebbene presenti effetti piezoelettrici con minore evidenza, ha tuttavia l'innegabile vantaggio di un'estrema durezza e di un'indipendenza perfetta delle sue caratteristiche da cause esteriori.

Affinchè un cristallo possa oscillare deve essere ridotto a lamina più o meno sottile con due faccie parallele. Il taglio deve essere eseguito oltre che con accuratezza e precisione, con criteri speciali, e cioè secondo gli *assi* del cristallo.

Un cristallo di quarzo, supposto perfetto, si presenta come un solido esagonale sormontato da una piramide (fig. 505).

Possiamo distinguere tre principali assi: il primo Z è detto *asse ottico*

del cristallo, Esso è parallelo alla faccia, ed è distinto da qualità ottiche particolari cui ci riferiremo in seguito.

L'altro asse X che congiunge gli spigoli del cristallo è detto *elettrico* appunto perchè gli effetti piezoelettrici si notano principalmente nella sua direzione.

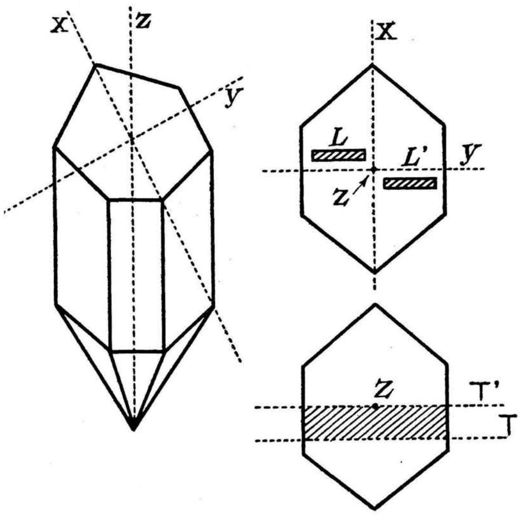


Fig. 505.

In altri termini, esercitando una pressione secondo l'asse elettrico si notano cariche elettriche opposte alle sue estremità, mentre applicando cariche opposte a queste ultime si nota una contrazione del cristallo.

Poichè gli spigoli sono sei, esistono tre assi elettrici (non tracciati in figura per la semplicità del disegno).

L'altro asse Y è perpendicolare ad X e alle faccie opposte che congiunge ed è detto *principale*.

È naturale che a cagione delle tre coppie di faccie opposte anche in questo caso esistono tre assi principali del cristallo ([1]).

Se il taglio della lamina cristallina si esegue parallelamente ad un asse principale e all'asse ottico, il suo spessore risulta nella direzione di un asse elettrico, quindi sono da aspettarsi effetti piezoelettrici molto intensi, sfruttando le due superfici piane così ottenute.

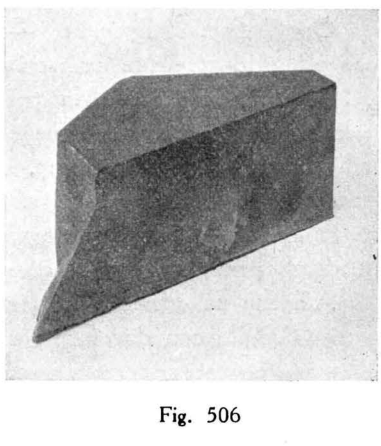


Fig. 506

Così nella fig. 505 L ed L' rappresentano sezioni di lamine tagliate secondo questi criteri o più semplicemente TT' ecc. rappresentano le linee secondo le quali deve tagliarsi

([1]) Riguardo agli assi del cristallo è bene tenere presente che essi rappresentano per noi linee ideali, o meglio *direzioni*. Così otterremo effetti analoghi tanto operando esattamente lungo gli assi quanto in una qualunque direzione ad essi parallela.

il cristallo di quarzo per ottenere una serie di lamine piezoelettriche. La figura 506, che rappresenta un cristallo in lavorazione, è ancora più evidente. Il piano sul quale riposa il cristallo è perpendicolare all'asse ottico, cioè questo è parallelo alla faccia che guarda l'osservatore. La faccia superiore è parallela all'asse elettrico, quindi essa rappresenta lo *spessore* delle lamine. Esse verranno quindi tagliate secondo piani perpendicolari a questa faccia. La fig. 507 rappresenta parte di un cristallo di quarzo che riposa pure su un piano perpendicolare all'asse ottico e nel quale è stato iniziato il taglio di una lamina, che è completato nella fig. 508, mentre la fig. 509 mostra alcune lamine dopo il taglio ed una sommaria pulitura ([1]). Riepilogando, nel taglio di una lamina piezoelettrica da un cristallo, occorre:



Fig. 507.

— Che le superfici piane di questa siano parallele all'asse ottico.

— Che lo spessore sia parallelo all'asse elettrico.

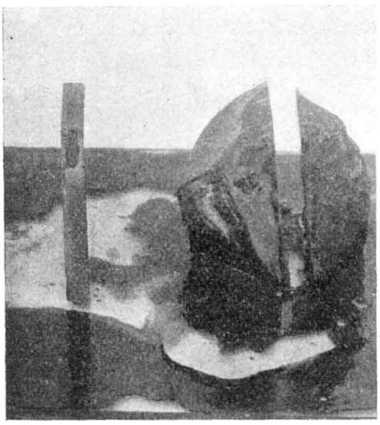


Fig. 508.

Per osservare gli effetti piezoelettrici occorre racchiudere la lamina così ottenuta fra due elettrodi piani.

Si nota allora, che imprimendo fra questi una f. e. m. alternativa la lamina cristallina vibra meccanicamente con frequenza analoga, anche se il contatto fra gli elettrodi e questa non è intimo. D'altra parte, facendo meccanicamente vibrare la lamina stessa, si ottiene nel circuito che fa capo ai due elettrodi, una corrente alternativa.

Ambedue questi effetti sono resi molto più cospicui portando l'insieme ad oscillare nei pressi della fre-

([1]) Per cortesia del Burau of Standard. U. S. A.

quenza fondamentale del cristallo che, come abbiamo osservato a pag. 493, dipende esclusivamente dalle sue dimensioni geometriche.

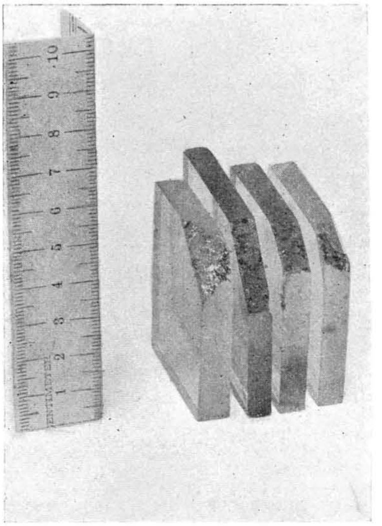


Fig. 509.

Si realizza quindi il circuito della fig. 510, dove si sfrutta l'oscillazione del cristallo per eccitare la griglia di un minuscolo oscillatore, nel quale la frequenza di risonanza del circuito placca può esere variata.

Quando il circuito riceve un impulso qualsiasi (inserzione della batteria per es.) il cristallo vibra per qualche istante alla sua frequenza di risonanza, generando una corrente rapidamente smorzata che si trasmette amplificata al circuito placca. Se questo contiene un'induttanza adatta parte di questa energia « ritorna » al circuito griglia attraverso le capacità placca-griglia della lampada, così da eccitare di nuovo il cristallo a vibrare. Il cristallo continuamente eccitato mantiene quindi un'ampiezza costante d'oscillazione e determina nel circuito placca una corrente oscillante di frequenza identica alla sua fondamentale.

Variando il condensatore *C*, man mano cioè che si porta il circuito placca alla risonanza, la corrente oscillante in esso va aumentando, finchè sull'accordo preciso le oscillazioni si smorzano.

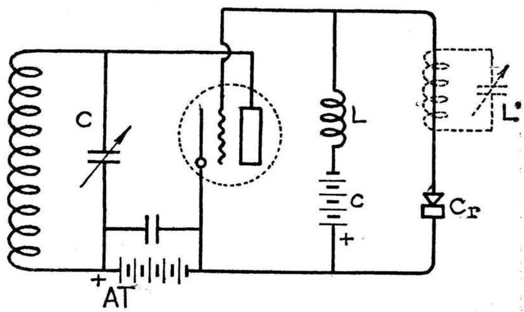


Fig. 510.

Si nota in questo modo che quando il taglio eseguito secondo i criteri precedenti esistono tre principali frequenze d'oscillazione della lamina cristallina. Una, più elevata, è dovuta allo spessore, mentre le altre due molto vicine e più basse sono dovute alle altre dimensioni (1).

(1) La vibrazione secondo la larghezza, parallela soltanto all'asse ottico e quindi a nessun asse elettrico, non dovrebbe, da quanto si è detto, verificarsi.

Quanto più lo spessore si avvicina ad una delle altre dimensioni, tanto più prossime risultano le tre frequenze, come del resto è naturale; mentre per spessori sempre più sottili si notano aumentate difficoltà per fare oscillare il cristallo alla frequenza più alta (di spessore).

In ogni caso si ottengono lamine oscillanti con estrema facilità, quando due o tutte le frequenze sono multiple una dell'altra.

Dalle esperienze finora eseguite si è dedotta una formula pratica che dà con buona approssimazione la frequenza più alta in relazione allo spessore della lamina, e cioè: Frequenza = 2870 : spessore.

Dove la frequenza è espressa in chilo periodi (KP) e lo spessore in millimetri.

Questa espressione può raggiungersi anche matematicamente calcolando la vibrazione meccanica del cristallo ([1]).

Da essa si deduce facilmente che lo spessore necessario ad ottenere una frequenza molto elevata è molto piccolo. Così per ottenere una frequenza di tre milioni di periodi (3000 KP) necessaria per un'emissione su 100 metri occorre uno spessore di 2870 : 3000 = 0,956 millimetri.

Per il calcolo pratico del taglio si può stabilire all'incirca che ogni millimetro di spessore equivale ad un'onda di 100 metri. Per ottenere frequenze corrispondenti ad onde di 50, 100, 200, 300 metri si possono quindi calcolare spessori di 05, 1, 2, 3 ecc. millimetri, riducendoli poi all'esatta misura con esperienze dirette.

Scelta ed esame dei cristalli. — Non tutti i cristalli di quarzo che si trovano in natura, sia pur tagliati in modo perfetto e secondo gli assi, sono adatti come oscillatori.

Varie ragioni, molte delle quali ancora oscure, determinano questo comportamento. Così alle volte basta un assottigliamento minimo di un cristallo che oscillava perfettamente per renderlo inutile, mentre una diminuzione successiva lo rende perfetto di nuovo.

Una delle ragioni più evidenti dell'inefficacia piezoelettrica di un

Tuttavia si suppone che ciò sia dovuto ad un « disordine » molecolare introdotto dal fatto che una espansione lungo l'asse ottico produce una contrazione nella direzione perpendicolare a questo o viceversa. Si suppone anche che le due frequenze basse possano essere dovute ad onde trasversali e longitudinali rispettivamente le quali propagandosi nel cristallo con differenti velocità danno luogo alle frequenze che si notano in pratica.

([1]) Dato infatti un cristallo libero di vibrare nella direzione dello spessore, esso conterrà esattamente una mezza lunghezza d'onda (meccanica) con un *nodo* al centro. Conoscendo in questo modo la lunghezza d'onda basta dedurre la velocità di propagazione nel mezzo (quarzo) per ottenere la frequenza di vibrazione meccanica. Leggere complicazioni sono tuttavia introdotte nel calcolo dalle proprietà *isotrope* del cristallo.

cristallo risiede in un fatto ben noto in ottica. Facendo cioè attraversare una lamina di quarzo, da un fascio di luce parallela all'asse ottico e *polarizzata* (v. pag. 46) si nota una *rotazione* del piano di polarizzazione.

Ora alcuni cristalli (destrogiri) fanno ruotare questo piano verso destra, altri verso sinistra (levogiri).

Altri invece presentano ambedue le proprietà e lasciano pressochè invariato il piano di polarizzazione.

Ora si conosce che gli effetti piezoelettrici dei cristalli destrogiri sono perfettamente opposti a quelli dei levogiri.

In altre parole, per una stessa pressione applicata, le cariche piezoelettriche sono opposte pei due tipi.

È naturale allora che un cristallo « doppio » non possa presentare notevoli effetti piezoelettrici e tanto meno oscillare.

Per queste ragioni nella scelta dei cristalli occorre determinare innanzi tutto se essi sono o no doppi (*trwin* o gemelli degli Inglesi).

Taglio dei cristalli. — Una volta localizzati gli assi ed indicate sul cristallo le varie direzioni, si inizia la lunga e delicata operazione del taglio. Si spiana anzitutto una parte del cristallo greggio (così che risulti parallela all'asse ottico e perpendicolare all'asse elettrico). Per far ciò si può cominciare con una mola a carborundum costantemente bagnata ed usata con criterio, affinchè non si producano incrinature nel cristallo. Volendo estrarre una sola lamina dal cristallo basta spianare in modo analogo la parte opposta fino a raggiungere una grossezza di poco superiore a quella calcolata.

Un procedimento più rapido consiste in un vero e proprio taglio delle lamine. Occorre all'uopo un sottile disco di ferro o rame che gira a grande velocità l'orlo del quale sia tenuto costantemente ricoperto da una miscela di parti uguali in peso di polvere di carborundum ed acqua.

Un altro sistema di costruzione è il taglio parallelamente allo spessore della futura lamina e quindi all'asse elettrico.

Poichè si è esperimentalmente trovato che a parità di condizioni un funzionamento più soddisfacente si ottiene da lamine circolari, questo procedimento si presta in modo speciale.

Si fa girare cioè rapidamente un tubo di ottone su un orlo del quale sia mantenuta la solita poltiglia di carborundum ed acqua. Con l'aiuto di questo avanzando nella direzione dell'asse elettrico si *fora* addirittura il cristallo ottenendo un cilindro regolare, dal quale infine si tolgono, mediante tagli perpendicolari un gran numero di lamine oscillatrici.

Il diametro o le dimensioni medie dei cristalli sono di due-tre centimetri al massimo, quindi occorre un cristallo relativamente grosso.

A parte le proprietà ottiche, nella scelta di questo occorre badare che non presenti bolle o incrinature interne che renderebbero impossibile ogni oscillazione.

Ottenute le lamine greggie, occorre renderne assolutamente parallele le due faccie e portarle allo spessore necessario alla frequenza da generare.

Su una lastra di vetro o di acciaio ben piana si sparge la poltiglia di carborundum e quindi, esercitando una certa pressione sul cristallo con la mano, lo si gira circolarmente in ogni senso.

Occorre spesso verificare la superficie con un micrometro e procedere con cura fino ad ottenere un parallelismo praticamente perfetto.

Da questo punto la lamina, uniformemente pressata sul piano mordente, può essere assottigliata fino allo spessore desiderato.

Ottenuto quest'ultimo si diminuisce la grossezza del carborundum, quindi si passa allo smeriglio finissimo, allo smeriglio in acqua e così via fino ad ottenere una superficie il più uniforme possibile. Volendo arrivare alla trasparenza occorre continuare ancora e lungamente con abrasivi sempre più minuti terminando col *rosso inglese*.

La perfetta pulitura della lamina è uno dei principali fattori necessari al suo uso come oscillatrice.

Alle volte basta toccare la superficie con la mano perchè l'infimo strato di grasso così lasciato riesca ad impedire il funzionamento.

Per quest'ultima pulitura si usa generalmente il tetracloruro di carbonio o in genere qualunque liquido « sgrassatore » purchè non sia corrosivo.

Montaggio dei cristalli. — Il cristallo di quarzo può essere usato tanto come oscillatore che come risuonatore. Nel primo caso è indispensabile per ottenere i migliori risultati che almeno una delle superfici metalliche di contatto non tocchi la superficie del cristallo pur restandone vicinissima. Nel secondo caso, molto utile nelle misure di precisione d'onda e al quale ci riferiremo nella parte 5ª, gli elettrodi possono essere anche connessi alla superficie senza danno.

Per la ragione su esposta è necessario il perfetto parallelismo fra le faccie. Infatti l'elettrodo superiore non deve distare dalle lamine più di 2-3 decimi di millimetro, e ciò il più uniformemente possibile su tutta la superficie.

Uno dei montaggi più semplici è rappresentato dalla fig. 511. L'elettrodo inferiore è ben fissato alla base isolante e resta in intimo contatto col cristallo; l'elettrodo superiore, leggermente pressato dalla molla *M*, è tenuto separato dalla lamina a mezzo di tre, quattro pezzetti di mica di circa 2-3 decimi di millimetro (non visibili in figura) disposti secondo la circonferenza della lamina stessa. Usando un anello di mica di diametro appena inferiore a quello del cristallo il montaggio è ancora più compatto ed uniforme.

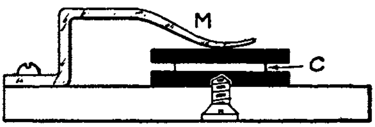


Fig. 511.

Esistono svariatissime forme di « portacristallo », le più pratiche delle quali sono senza dubbio quelle a distanza variabile degli elettrodi, che permettono di trovare per ogni cristallo la distanza più adatta al migliore funzionamento.

La costruzione di questi è più complessa di quanto potrebbe a prima vista apparire e richiede un lavoro al tornio di precisione.

La distanza una volta regolata deve rimanere costante, poichè bastano piccole variazioni per determinare cambi di frequenza rilevabili.

Alcuni cristalli, che oscillano in modo estremamente facile, possono funzionare regolarmente anche quando sono perfettamente uniti agli elettrodi. In pratica si preferisce però sempre il montaggio suddetto.

Prova dei cristalli. — Durante l'assottigliamento finale dei cristalli occorre procedere lentamente, misurando molto spesso la frequenza d'oscillazione.

All'uopo è utile avere già pronto il porta cristallo e disporre di un circuito oscillatore analogo a quello della fig. 510.

Regolata la distanza dell'elettrodo superiore si varia *lentamente* il condensatore *C* cominciando dallo zero osservando il milliamperometro di placca.

L'innesco delle oscillazioni è rivelato da una brusca diminuzione della corrente placca che va continuamente diminuendo per aumenti successivi fino ad annullarsi alla risonanza.

La variazione *lenta* del condensatore è indispensabile, poichè certi cristalli richiedono un tempo apprezzabile per cominciare ad oscillare (qualche secondo), e quindi variando rapidamente si passerebbe sull'accordo senza accorgersene.

Se il cristallo si rifiuta di oscillare si può cercare di aiutarlo con un poco di effetto reazione inserendo in griglia il circuito *L'*. Occorre

però badare che questo non sia troppo intenso, perchè potrebbe verificarsi l' incrinatura del cristallo dovuta a vibrazioni eccessivamente ampie.

Un' incrinatura minuscola può essere la causa del mancato funzionamento, e in questo caso il cristallo è inutilizzato.

Se dopo svariatissime prove il cristallo (già scelto all' esame ottico) si rifiutasse ancora di oscillare, si può tentare di assottigliarlo *lentissimamente* provandolo di continuo. È molto probabile in questo caso che una diminuzione di spessore difficilmente misurabile restituisca alla lamina le sue proprietà oscillatrici.

La tensione placca non deve essere eccessiva, altrimenti il « ritorno » *AF* attraverso la lampada sarebbe sufficiente ad inutilizzare il cristallo. Usando una lampada di 10-15 watts la tensione massima non deve superare i 300-350 volta. Nel circuito griglia si inserisce una batteria di 15-25 volta a seconda della tensione placca, così da fornire la necessaria carica negativa alla griglia stessa.

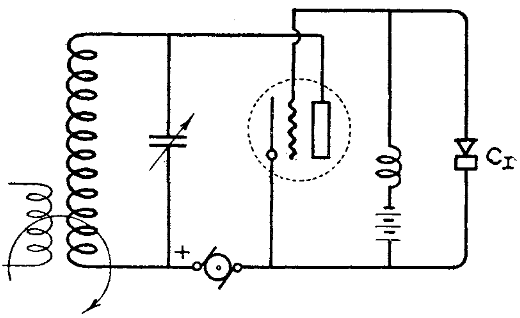


Fig. 512.

Durante tutte le prove, disponendo di un piccolo amperometro termico (0-1 amp. ad esempio) nel circuito oscillante *LC*, l' accordo riesce grandemente semplificato.

Quando il funzionamento del cristallo è regolare, esso non deve emettere vibrazioni sonore e la sua temperatura non deve superare i 50-60 gradi dopo lunghi periodi di funzionamento.

Si avranno allora disponibili nel circuito placca del triodo guidato dal cristallo dai 5 ai 10 watts di energia oscillante a frequenza assolutamente stabile che potrà essere sia direttamente irradiata (v. fig. 512), sia impressa sulle griglie di triodi successivi (v. fig. 513) coi procedimenti già ricordati in precedenza (v. pag. 482) ([1]).

Tanto più sottile il cristallo tanto minore la potenza che esso può controllare. Lo spessore della lamina più sottile ottenuta in pratica è stato di circa *due decimi di millimetro* con una frequenza d' oscillazione di 15 mila *KP*.

([1]) Per ulteriori notizie sui cristalli oscillatori, vedi parte 5ª.

Tuttavia lamine così sottili non sono convenienti sia per l'esigua potenza che esse possono controllare, sia e specialmente, per le difficoltà di costruzione e la facilità d'incrinatura durante il funzionamento.

Il limite pratico, per un funzionamento regolare e conveniente, resta per ora fissato al *mezzo millimetro*, e quindi a frequenze d'oscillazione

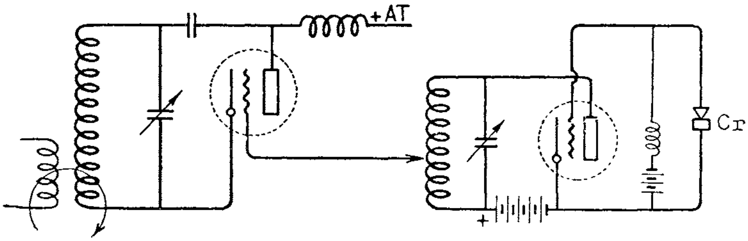


Fig. 513.

dai 6 ai 7 mila *KP*. Cristalli di questo genere possono essere usati per amplificazione diretta della loro frequenza, mentre cristalli più grossi, raccomandabili nella maggioranza dei casi, possono essere ugualmente sfruttati fino alle più alte frequenze usando amplificatori di armoniche (v. pag. 486).

Nella pratica delle comunicazioni esperimentali è senza dubbio conveniente usare cristalli di 1-2 millimetri (100-200 metri λ_0) ed utilizzare armoniche di ordine elevato.

Così ad esempio un cristallo capace di oscillare su 180 metri d'onda può fornire 10-15 watts nel circuito placca del triodo che eccita. L'intensità della 2ª o 3ª armonica, opportunamente esaltata, può essere in condizioni normali un decimo di questa.

È possibile allora disporre di una f. e. m. alternativa stabilissima (λ 90 e 60 metri) capace di eccitare la griglia di un secondo triodo analogo al primo. Nel circuito placca di questo abbiamo ancora 10-15 watts oscillanti che possiamo utilizzare direttamente su un triodo di maggiore potenza o ancora indirettamente sfruttando nuove armoniche.

Il terzo triodo allora, analogo ai due primi, ci fornisce in placca una potenza di 10-15 watts su 45 o 30 metri rispettivamente.

Eccitando armoniche di ordine molto maggiore, si può abbreviare la serie di lampade necessarie, che tuttavia per l'esigua loro potenza non possono affatto preoccupare.

Così utilizzando un rapporto armonico anche fra le frequenze degli stadi successivi a maggiore potenza, si possono raggiungere in condizioni di perfetta stabilità le onde più corte.

Esempi pratici di trasmettitori. — Dopo aver ricordato le più importanti precauzioni da seguire nella realizzazione dei circuiti trasmettitori, non è inopportuno riportare alcuni esempi pratici, derivandoli da costruzioni già eseguite ed esperimentate da chi scrive.

Esempio n. 1. Specialmente indicato per lo studio sperimentale in una vasta gamma di onda e con varie potenze.

Il montaggio viene eseguito su una tavola semplice di legno; questa può essere messa sia orizzontale che verticale: in quest' ultimo caso da preferirsi quasi sempre, è bene che la tavola (di buon spessore) sia fissata ad una parete (possibilmente muro maestro). Questo particolare è importante per evitare le variazioni di frequenza dovute a scosse o vibrazioni.

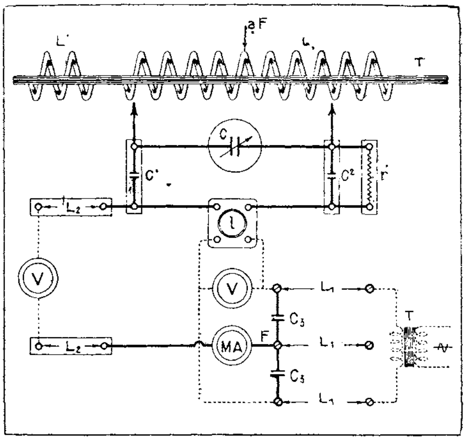


Fig. 514.

Tutti gli istrumenti necessari alla trasmissione troveranno posto su questa tavola, ad eccezione della sorgente di alimentazione di placca. Il circuito adottato è il cosidetto Hartley con accoppiamento induttivo o a mezzo di linea *AF* e con induttanze intercambiabili per permettere le varie lunghezze d' onda necessarie. Il materiale occorrente è relativamente poco, di prezzo non eccessivo e quindi alla portata di tutti.

Lo schema della figura 514 mostra le connessioni elettriche fra le varie parti. Esse sono eseguite con filo di rame grosso, perchè risultino molto rigide. I rettangoli punteggiati rappresentano delle tavolette di ebanite che portano alle estremità due serrafili che permettono l' intercambiabilità delle varie parti, e quindi l' uso esperimentale dell' insieme in una gamma vastissima di frequenze. Procedendo da destra verso sinistra abbiamo da prima l' entrata della corrente alternata stradale al primario del trasformatore di accensione attraverso un reostato ad alta resistenza. Sul secondario, che ha una presa centrale, sono inserite tre tavolette per sopportare le induttanze L_1 e i condensatori C_3.

Queste induttanze si inseriscono soltanto quando l' onda emessa è molto corta (minore di 30-40 metri) e vengono sostituite con un conduttore negli altri casi. I due condensatori C_3 sono comuni da ricezione,

isolamento in mica e con elettrodi sufficienti a permettere il passaggio dell'AF senza riscaldarsi.

La lampada è indicata schematicamente e può essere qualunque (tipo francese a corna, americano o tedesco). La placca viene collegata alla bobina oscillante attraverso il condensatore C' (ad alto isolamento perchè deve sopportare la tensione di placca) e alla sorgente AT a mezzo dell'induttanza L_2 che è intercambiale col solito sistema. La griglia giunge pure all'induttanza attraverso al condensatore C_2 che ha in parallelo una resistenza (variabile possibilmente, da qualche migliaio a 20 mila ohms).

Le induttanze primaria e secondaria sono sistemate in modo da poter essere variamente accoppiate e all'uopo scorrono su due bastoni di vetro T sistemati come alla fig. 476, all'estremità superiore della tavola.

Esse si costruiscono su tubo di cartone per le frequenze più basse e completamente in aria per quelle più alte. Quelle su tubo di cartone hanno applicato su un lato un listello di ebanite che porta gli estremi delle varie sezioni di induttanza. Quelle in aria si costruiscono dando la forma cilindrica alle spire necessarie e quindi tenendole a posto alla giusta distanza a mezzo di due o quattro regoli di legno duro paraffinato a seconda che il filo è grosso o sottile (fig. 474). Qualunque altra forma può essere usata, ma questa si adatta più facilmente a scorrere sulle guide di vetro. Le bobine di arresto si possono avvolgere su cartone o su cilindro di legno paraffinato e magari munire di due laminette di contatto secondo le possibilità costruttive dell'esperimentatore.

Il condensatore variabile in parallelo sull'induttanza può essere del tipo « da ricezione » con le lamine sufficientemente separate per resistere alla tensione impressa. Due serrafili in serie, normalmente in corto circuito, servono per inserire un eventuale ampermetro o indicatore (lampada) ter-

Lung. d'onda	L δ 15 cm.	L' δ 10 cm.	L'' δ 6 cm.	C	C'	C''
250 — 400	70	600	—	0.0002	0.004	0.001
150 — 250	40	300	—	»	0.002	0.001
60 — 120	20	150	—	»	0.001	0.001
30 — 70	12	80	—	»	0.0005	0.0002
15 — 30	7	40	30 — 40	»	0.0005	0.0001

mico durante i primi regolaggi. I valori delle varie capacità e induttanze in relazione alla frequenza e al miglior rendimento sono dati dalla tabella.

Per onde più corte conviene che il condensatore variabile C anzichè in parallelo sia posto in serie all' induttanza L (per esempio dividendo questa in due parti uguali e inserendolo fra queste), v. fig. 338.

A montaggio ultimato si accende la lampada e si usa una tensione placca un terzo o un quarto del normale. Si esclude il circuito d' aereo e si inserisce una piccola lampada o un amperometro in serie a C (è bene ricordare che la corrente nel circuito raggiunge valori molto elevati). Se la resistenza di griglia è appropriata e il montaggio è ben eseguito le oscillazioni si innescheranno immediatamente. Si regolano allora le prese sull' induttanza per cercare di migliorare il rendimento (maggior corrente per una data frequenza), quindi si accoppia fortemente l' antenna e si ricercano i punti approssimati di risonanza con fondamentale o armonica (brusco disinnesco delle oscillazioni). Si aumenta allora gradatamente la tensione di placca e si disaccoppia a sufficienza il circuito radiante fino a portarsi in quelle condizioni di rendimento e stabilità più volte ricordate.

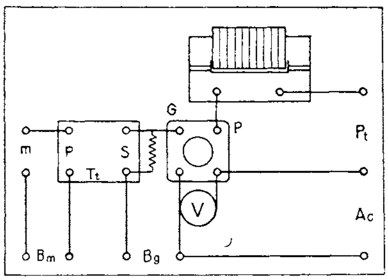


Fig. 515.

Con un montaggio di questo genere è possibile eseguire le più variate ed interessanti esperienze in modo *razionale* ed avere costantemente sott' occhio una vera materializzazione del « circuito » schematico.

Esempio n. 2. Rappresenta un complesso modulatore per funzionare in unione al trasmettitore descritto. È pure montato su tavola di legno che viene fissata prima di questo. Dopo quanto si è detto sulla modulazione, vi è ben poco da dire per illustrare il funzionamento delle varie parti. La modulazione è su placca a mezzo di una lampada L' analoga a quella oscillante inserita sul circuito AT a mezzo della induttanza L. Sulla griglia della lampada abbiamo il secondario di una bobina d' induzione che raggiunge il filamento attraverso la batteria C (che serve a rendere negativa la griglia stessa) e che è shuntato dalla resistenza intercambiabile R. Il microfono sul primario completa l' insieme.

Per l' accensione serve lo stesso trasformatore I. Tuttavia è generalmente preferibile che la presa equipotenziale sia eseguita a mezzo di un cursore su una resistenza in parallelo al secondario (vedi accensione, pag. 420).

Se il trasmettitore funziona egregiamente, la messa a punto del

modulatore si fa direttamente su questo variando il potenziale di C e il valore di R fino ad ottenere una modulazione profonda e pura. (Spesso la polarità della batteria del microfono ha pure influenza sulla qualità della modulazione).

Esempio n. 3. Serve specialmente per onde molto corte (per la stabilità dell'emissione), e non è altro che la realizzazione pratica del sistema ad oscillazione obbligata (fig. 516). È montato analogamente al n. 1 su una tavola di legno.

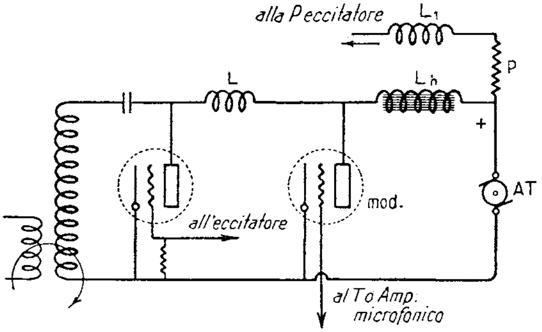


Fig. 516.

L'oscillatore primario usa lo stesso sistema di montaggio se si esclude l'accoppiamento variabile della bobina oscillante, che viene invece ben fissata. Il triodo amplificatore ha una potenza uguale o di poco superiore (al massimo il doppio) di quella dell'altro, poichè ciò si è sperimentalmente trovato vantaggioso. La bobina di placca di questo è avvolta su cilindro di cartone con filo di 8 decimi di millimetro, con una decina di prese variabili ad uguali intervalli.

I valori più convenienti per le varie lunghezze d'onda sono dati dalla tabella per un diametro delle spire di 10 centimetri. La griglia è collegata al filamento attraverso ad una resistenza di 3000-10000 ohms e l'alimentazione si eseguisce sullo stesso trasformatore. La bobina di antenna è di grosso filo di rame e può variamente accoppiarsi a quella di placca.

250 — 400	100
150 — 250	70
60 — 120	50
30 — 70	30
15 — 30	20

Per operare questo trasmettitore possono servire i suggerimenti della parte prima del capitolo.

Esempio n. 4. Rappresenta il caso di un trasmettitore che deve funzionare sempre in ottime condizioni di rendimento per un vero e proprio traffico commerciale (trasmissione circolare telefonica p. e.), quindi non è indicato per condurre svariate esperienze.

Il circuito usato è ad oscillazione obbligata con modulazione sullo amplificatore di potenza e con amplificazione microfonica (v. fig. 517). Esso è conveniente per potenze fra i 200 e i 2000 watts, ed ha il pregio di una grande acutezza di sintonia, durante la trasmissione telefonica, poichè la

frequenza dell'emissione rimane pressochè costante, anzichè variare coi cambiamenti della corrente di placca, come succede generalmente nel

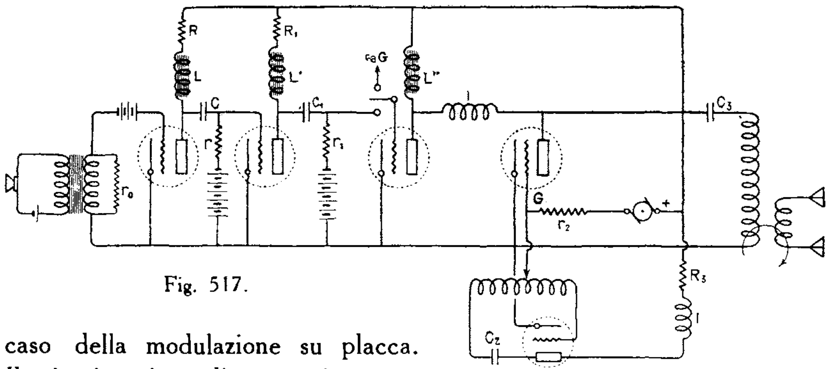


Fig. 517.

caso della modulazione su placca. Il circuito si realizza praticamente su un pannello simile a quello della fig. 514, che racchiude la stazione completa escludendo il generatore ad AT.

Il minimo di lampade necessario è cinque. Le ultime due, modulatrice e amplificatrice hanno la stessa potenza. La seconda dell'amplificatore e quella dell'O primario una potenza 4-5 volte minore. La prima una potenza ancora 4-5 volte minore. Le resistenze R, R_1, R_3 si regolano in modo da dare sulle varie placche la tensione normale. L'induttanza L'' è la solita necessaria per la modulazione su placca, mentre L ed L' servono per impedire il passaggio della corrente a bassa frequenza. I condensatori C e C_1 hanno una capacità di mezzo microfarad per lasciare liberamente passare le correnti a BF.

Il trasformatore microfonico è del solito tipo col secondario shuntato da r_0. La modulazione ottenuta con questo sistema è purissima e profonda.

Chi desiderasse un montaggio esperimentale può usare la solita tavola di legno fissata ad una parete.

La superficie totale occupata è di m. 2×080, e la disposizione generale permette l' intercambiabilità delle varie parti.

La bobina di placca può essere direttamente accoppiata all'aereo senza danno; in questo caso è però indispensabile costruirla con filo grosso e con poche spire, perchè viene attraversata da correnti elevate. Una volta sistemato il trasmettitore, si può utilmente racchiuderlo in una custodia con sportelli vetrati apribili sul davanti, custodia che si applica facilmente avvitandola sulla tavola fissata alla parete (fig. 518).

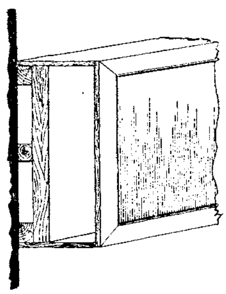


Fig. 518.

In questo modo la realizzazione pratica di una potente e moderna stazione radiotelefonica di trasmissione (per esempio per uso « broadcasting » risulta economica e relativamente facile.

Esempio n. 5. È uno dei migliori sistemi ad autoeccitazione per onde corte e cortissime, e quando la potenza sia notevole.

Ricordammo già il caso dell' eccitazione della griglia attraverso le capacità interne della lampada (vedi capitolo 2°); ora il sistema non è pratico ed anzi rappresenta un danno per frequenze relativamente basse; ma nel campo delle onde corte la capacità placca griglia è più che sufficiente ad assicurare una intensa eccitazione (fig. 519).

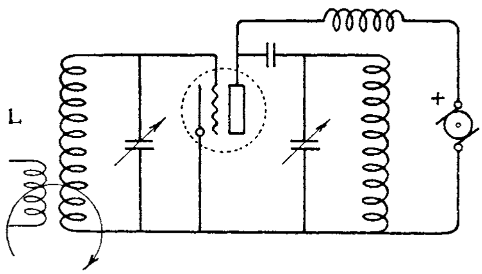


Fig. 519.

Il vantaggio principale, oltre alla stabilità maggiore di frequenza, si nota soltanto quando la potenza è notevole: infatti con onde molto corte (25 metri e meno) si dà spesso il caso che la corrente oscillante necessaria da eccitare la griglia produca un eccessivo riscaldamento della parte di conduttore che attraversa la lampada e della griglia stessa. Ora nel nostro caso, venendo la eccitazione dalla placca per la via capacitativa interna alla lampada, questo caso non si verifica più. Il sistema può oscillare facilmente fino alle onde più corte (3-4 metri) con potenze relativamente grandi. Le due bobine L ed L' sono montate al solito « in aria » con filo molto grosso e con spire ben spaziate (2 diametri).

I condensatori devono pure essere ben dimensionati, poichè sono attraversati da forti correnti e la loro capacità è elevata per rendere nulli o minimi gli effetti delle variazioni interne di capacità. Le induttanze e i condensatori di blocco hanno i soliti valori più volte raccomandati.

Il sistema radiante si accoppia ad L (sempre indirettamente).

Durante le prime prove si accordano i due circuiti placca e griglia fino ad ottenere l' innesco delle oscillazioni stesse: si accoppia quindi l' antenna e si trova la miglior frequenza di lavoro, quindi si ritoccano i circuiti griglia e placca disaccordandoli leggermente per stabilizzare l' emissione.

Usando un' antenna molto rigida la stabilità di questo circuito è spesso paragonabile a quella che si ottiene coll' oscillatore obbligato, col vantaggio di una maggior semplicità e di un' assoluta certezza di funzionamento anche per chi inizia questo genere di costruzioni.

Esempio n. 6. Rappresenta un gruppo trasmettitore di piccolissima potenza adatto per esser trasportato ovunque e facilmente montato su canotti, auto, motociclette ecc. (fig. 520). L'alimentazione di placca si ottiene con un rocchetto di induzione (per auto) alimentato a bassa tensione (4-6 volts) attraverso un vibratore il più possibile musicale. Il secondario del rocchetto è generalmente avvolto con filo troppo sottile per poter dare la corrente placca necessaria; quindi si shunta l'avvolgimento con un condensatore fisso di 2-3 mμf. L'alimentazione della lampada si esegue sulla stessa sorgente a *BT*, quindi la stazione completa può avere dimensioni varianti fra quelle di una macchina fotografica e quelle di una piccola valigia e la portata variare, in condizioni *normali*, fra i 5 e i 100 km. mentre in condizioni eccezionali può aumentare in modo considerevole.

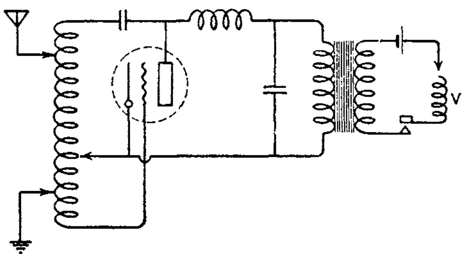


Fig. 520.

Nel caso di montaggio su automobile il materiale occorrente è minimo potendo utilizzare l'impianto di illuminazione dell'auto stessa. Si collegherà in questo caso la bobina oscillante da una parte alla massa metallica del veicolo e dall'altra da un filo unico disposto in alto e operato nei pressi della fondamentale. Usando onde molto corte la lunghezza di questo non è eccessiva e quindi si può facilmente dissimularlo.

Le migliori lampade da usarsi sono quelle a filamento ossidato e la loro potenza potrà variare da 2 a 20 watts alimentazione a seconda della bobina di induzione usata.

Esempio n. 7. È simile al precedente con la differenza che l'alimentazione è eseguita con pile a secco 200-300 volts.

Le piccole pile per lampada tascabile, *purchè molto fresche* sono le più convenienti ed hanno una durata abbastanza lunga. Esse si disporranno in una cassetta possibilmente riempita con paraffina.

Il consumo della lampada usata non dovrà sorpassare i 20-30 milliamperes affinchè il funzionamento non risulti troppo costoso. La modulazione si effettua sulla griglia ed occorre badare che non risulti eccessiva a cagione della potenza oscillante relativamente piccola. Questo gruppo richiede che l'antenna sia rigida in modo estremo affinchè la ricezione sia possibile, quindi è generalmente meno adatto di quello precedente per impianti su veicoli ecc. La gamma d'onda più conveniente varia dai 100 ai 50 metri poichè in onde minori subentrando i

noti fenomeni di affievolimento ecc. la comunicazione a breve distanza verrebbe compromessa.

Esempio n. 8. È un piccolo trasmettitore a cristallo il quale usa il circuito della fig. 510. Il circuito L' non è necessario se il cristallo è un buon oscillatore. In questo caso l' onda irradiata non può avere una frequenza superiore a quella del cristallo; il circuito placca quindi si sintonizza lentamente fino a portarlo in prossimità dell' accordo col cristallo per ottenere le oscillazioni.

Nei riguardi costruttivi nulla è da aggiungere a quanto già è stato detto: in questo caso può essere utile soltanto qualche suggerimento sulla messa a punto del piccolo trasmettitore. Stabilito nel circuito di placca qualche indicatore termico capace di rivelarci l' eventuale corrente oscillante si varia C *lentamente* fino ad ottenere le oscillazioni. Si avvanza ancora finchè le oscillazioni cessano bruscamente. Si ritorna allora indietro e si fissa la capacità proprio al punto dove accade lo innesco. È il momento questo di accoppiare l' antenna. Se si opera su fondamentale occorre un accoppiamento *molto* lasco, altrimenti il cristallo cessa di oscillare. Si accoppiano i due circuiti sintonizzati sulla stessa λ o su armoniche (preferibilmente dispari) finchè si nota una notevole variazione nella corrente placca. Si prova allora la manipolazione ascoltando ad un ricevitore vicino. Se questa tralascia qualche segno occorre o una leggera diminuzione di C o un minore accoppiamento dell' antenna. Questo piccolo trasmettitore è senza dubbio ideale negli innumerevoli casi dove gli istrumenti non possono essere ben fissati o vengono comunque mossi durante il funzionamento. Esso può senza dubbio in tali occasioni superare di gran lunga un posto molto più potente.

Controllo a distanza del trasmettitore. — Nel lavoro sperimentale che ci proponiamo può essere alle volte conveniente operare a distanza un trasmettitore. È possibile in questo modo collegare *direttamente* all' antenna nelle località più inacessibili e più scomode l' insieme completo di trasmissione, sottraendolo così ad ogni nociva influenza che una ubicazione infelice potrebbe asportare. Lo stesso sistema si presta poi in modo particolare al metodo *duplex* di trasmissione, nel quale cioè la trasmissione è simultanea alla ricezione e viceversa. Questo sistema è senza dubbio molto utile nello studio delle variazioni di intensità dei segnali e in genere delle caratteristiche di propagazione (vedi parte 5ª).

Se la distanza fra trasmettitore e ricevitore non è eccessiva e se la potenza non è molto grande, un numero di conduttori anche notevole

non può preoccupare. L'accensione si esegue comandando il primario del trasformatore con una resistenza graduale e con l'indicazione di un voltmetro inserito come alla fig. 521 ([1]).

Basta un altro filo per la manipolazione se questa si esegue sul primario del trasformatore *AT*. Un'ulteriore comodità è la lettura del milliamperometro di placca che richiede altri due fili. La linea si deriva dalla presa centrale del trasformatore, la quale *deve essere messa a terra* sia direttamente sia attraverso un'induttanza (v. pag. 422).

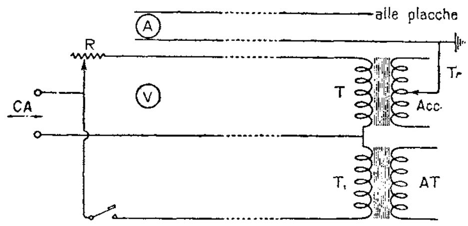


Fig. 521.

Si regola il trasmettitore a funzionare in perfette condizioni di carico (ancor meglio se sotto carico), si accoppia l'aereo in modo appena sufficiente per ottenere la massima stabilità, quindi si marcano in rosso sugli istrumenti di misura al posto di controllo le massime indicazioni.

In questo modo basterà riportare gli indici su queste stesse per riportare il complesso nelle identiche condizioni in qualunque momento.

L'alimentazione con corrente continua richiede un *relay* apposito. Mantenuto il sistema d'accensione con corrente alternata, occorre una linea che comanda un *relay* inserito sull'alta tensione (vedi pag. 376), ed un'altra linea che comanda il generatore. Le possibilità o meno di impianto permetteranno poi l'aggiunta o no di istrumenti indicatori.

Quando l'impianto è *molto* distante e l'economia e sistemazione di numerosi conduttori diventa fattore importante, è possibile eseguire tutti i comandi con due ed anche con un solo filo. In questo caso l'accensione diventa necessariamente brusca anzichè graduale.

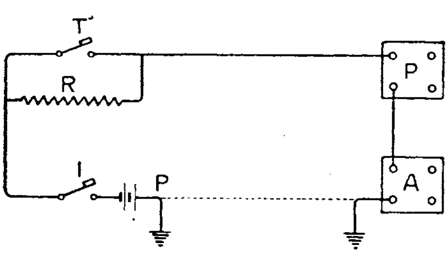


Fig. 522.

Occorrono anzitutto due *relays* montati come alla fig. 522. Il primo *A* ha un avvolgimento a grande resistenza e comanda il circuito d'accensione. L'altro *P* ha un avvolgimento a debole resistenza, così che in condizioni normali (tasto alzato) l'intensità della corrente che lo attraversa sia insufficiente a farlo agire.

([1]) Il collegamento di *V* è stato tralasciato, per errore, nel disegno.

Abbassando il tasto si mette in corto circuito *R*, così che la corrente aumentata può fare agire il *relay* *P* e quindi eseguire la manipolazione.

È evidente d'altra parte che uno dei due fili può essere eliminato, utilizzando il contatto col suolo ad ambedue le estremità della linea.

Nella sistemazione dei conduttori è preferibile farli correre in cavo metallico in contatto col suolo e in ogni caso assicurarsi che la loro frequenza di risonanza non sia vicina a quella di lavoro o ad una sua armonica.

Bobine di blocco alle estremità delle linee, capacità in parallello ecc. (v. pag. 234) possono eventualmente servire per modificare il periodo proprio del sistema.

Produzione di onde cortissime. — Al di sotto dei 10 metri la generazione di onde persistenti richiede maggiori precauzioni, se pure in sintesi l'insieme trasmettitore vada sempre più semplificandosi. Allo scopo di portare al minimo tutte le capacità del circuito, per non essere costretti a ridurre a dimensioni troppo esigue l'induttanza, si collegano le capacità variabili in serie anzichè in parallelo. Il loro valore massimo non ha grande importanza, purchè quello residuo sia molto piccolo. Un circuito che può scendere senza difcoltà fino a 2-3 metri è quello della fig. 523; ci si accorge facilmente che non è che il cosidetto Hartley con capacità in serie.

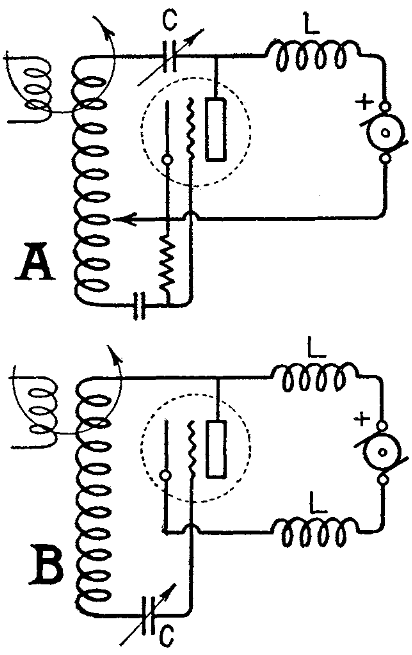


Fig. 523.

Col diminuire della lunghezza di onda la presa centrale del filamento può venire eliminata senza diminuire il rendimento, poichè essa si effettua per capacità; così che il circuito si semplifica ancora in quello della fig. 523 *B*.

I valori delle induttanze per onde così corte sono troppo dipendenti da quelli delle capacità del circuito stesso per poterli esprimere come al solito in una tabella. Il loro diametro più conveniente è di 4-5 cm.

con spire molto spaziate (3-4 diametri). Le bobine d'arresto indispensabili anche al filamento si possono avvolgere con filo sottile su cilindretti isolanti di 15-20 mm. di diametro. (Se la capacità dell'avvolgimento è piccola, una trentina di spire servono egregiamente).

Le connessioni debbono farsi con filo grosso e rigido e naturalmente cortissime, la presenza di dielettrici in campi elettrostatici intensi evitata e resa la minima possibile. Il rendimento è tuttavia molto basso, quindi per non sovraccaricare le lampade è conveniente che la potenza che può dissipare in colore la placca sia notevole (3-4 quinti della totale). Lo accoppiamento dell'antenna è sempre indiretto e molto spesso eseguito avvicinando semplicemente un'asta metallica risonante sulla frequenza desiderata. Gli accoppiamenti per capacità e con linea *AF* già esaminati, si prestano ad utilissime applicazioni in questo campo.

La trasmissione con quadro radiante o comunque concentrata e riflessa in determinate direzioni è realizzabile con estrema semplicità. Analogamente a quanto si è fatto per onde più lunghe, qualche esempio pratico può servire di maggior schiarimento al costruttore:

Oscillatore 2-10 metri. È un piccolo trasmettitore specialmente studiato per esperienze e misure di laboratorio o per trasmissione a breve distanza. Il suo campo di oscillazione varia fra 180 e 1000 cm. circa a seconda del triodo usato. Questo nel caso esposto, è una lampada ricevente a filamento ossidato del tipo da 0,25 *A*, ma può essere con vantaggio sostituito con un tipo di maggior potenza sempre però, possibilmente, a filamento ricoperto di ossidi.

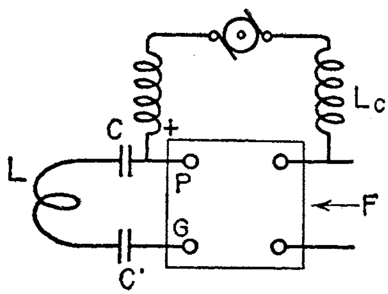


Fig. 524.

La fig. 524 mostra il trasmettitore completo realizzato dallo scrivente per misure sui fili di Leker (v. parte 5ª).

Il materiale necessario è ridotto pressochè al minimo. La griglia e la placca sono collegate a mezzo dell'induttanza *L* attraverso i condensatori *C* e *C'* che possono essere fissi. Quindi la frequenza può essere variata a piacere facendo l'induttanza intercambiabile. Così con una serie di bobine di filo nudo di rame (3 mm.) con un diametro delle spire di 4 cm. è possibile coprire tutta la gamma di onde da 2 a 10 metri. Facendo poi uno dei due condensatori variabile si può diminuire il numero delle bobine necessarie e regolare la trasmissione sulla frequenza prestabilita. Ciò tuttavia non è necessario, sia perchè la

variazione sarebbe sempre molto piccola (da 50 a 100 cm.), sia perchè con onde così corte è raro il caso di dover trasmettere su un' onda vigorosamente determinata ([1]).

Tuttavia l' inserzione del condensatore variabile è spesso utile. Questo condensatore si può facilmente costruire con due piccole lamine metalliche delle quali una resti saldata ad un estremo dell' induttanza e l' altra alla placca e sovrapponendole più o meno a 2 o 3 millimetri di distanza. Al di sopra dei 5 metri però questa capacità è spesso troppo esigua ed ha bisogno di essere aumentata. Il numero delle spire (ð 5 cm.) delle varie bobine è approssimativamente di 8, 6, 4, 2, $^1/_2$ e $^1/_4$ per onde rispettive di metri 10, 8, 6, 4, 3 e 2 circa.

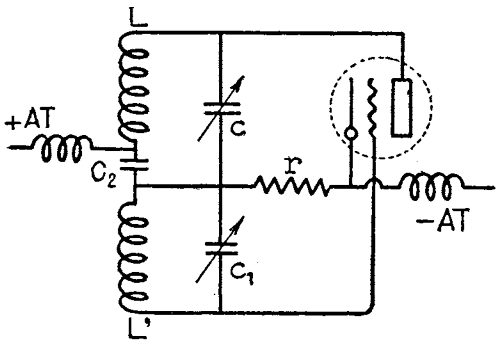


Fig. 525.

Il rendimento è piccolo ma sempre sufficiente per l' uso esperimentale di questo oscillatore.

Trasmettitore 3-12 metri. È un gruppo trasmettitore specialmente adatto alla trasmissione su 3-4 metri con potenze anche abbastanza notevoli. Il circuito (fig. 525) è già stato esaminato in altra parte. L' alimentazione placca che si esegue in un punto dove il potenziale *AF* è nullo (centro dell' induttanza), permetterebbe di fare a meno delle solite bobine di arresto. Tuttavia per previdenza è meglio mantenerle ancora. I due condensatori C e C' hanno identiche capacità e potrebbero essere mossi simultaneamente una volta regolati; è bene che C_2 abbia una capacità di 100-200 μf. Anche in questo caso le variazioni notevoli di frequenza si ottengono cambiando le induttanze, mentre i condensatori variabili permettono dallo zero al massimo della loro scala un aumento del 40-50 per cento circa.

Per le onde inferiori ai 5-6 metri le induttanze L ed L', sono ridotte ad una frazione di spira soltanto, di diametro più o meno grande a seconda delle capacità impiegate (v. fig. 526). Usando condensatori di mezzo millesimo di microfarad e un diametro di 10 cm. occorrono all' incirca 4, 2, 1, $^1/_2$ spire per bobina per coprire la gamma da 3 a 12 metri.

([1]) L' uso di un solo condensatore semplifica il circuito ma lo rende meno equilibrato. Usandolo d' altra parte al centro dell' induttanza si ha lo svantaggio di dovere costruire una *doppia* serie di bobine.

Trasmettitore a quadro. Con frequenze così elevate la trasmissione con quadro è ugualmente efficiente a quella con antenna se la ubicazione del primo è buona. Il quadro è generalmente di dimensioni non troppo grandi con una sola spira di grosso tubo così che la sua resistenza sia molto piccola. Esso si collega all'oscillatore sia induttivamente che per capacità e data la sua debole resistenza la corrente oscillante in esso raggiunge elevati valori.

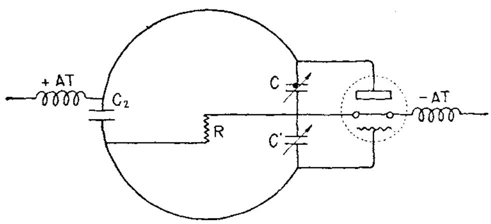


Fig. 526.

È possibile utilizzare lo stesso quadro per mantenere in oscillazione l'audion, me in questo caso l'influenza dei corpi vicini (p. e. dell'operatore) determina forti variazioni di onda. Con un quadro di 70-80 cm. di lato fatto con tubo di rame o ottone di 10 mm. si possono ottenere ottime portate con onde da 15 a 40 metri. Questo è molto utile dovunque occorra un trasmettitore trasportabile e di dimensioni ridotte (su auto, su aerei e su piccole navi).

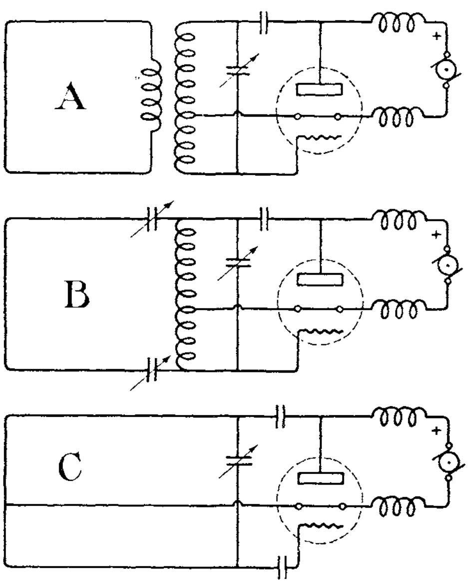


Fig. 527.

I tre circuiti menzionati sono rappresentati dalla figura 527 *ABC*.

Parlando del sistema radiante abbiamo accennato alle possibilità di riflessione delle onde hertziane spiegandone per sommi capi il meccanismo.

Sperimentando con frequenze tanto elevate la realizzazione pratica di questo non risulta per nulla difficoltosa, e di ciò ci occuperemo nella parte 5ª.

Produzione di onde ultra corte. — Si dicono comunemente onde ultra corte quelle al di sotto dei 2-3 metri di lunghezza. La produzione di frequenze così elevate (maggiori di 100 milioni di periodi)

comincia a diventare difficile, poichè l'audion si presenta inefficiente ed inadatto specialmente per l'ecessiva capacità interna.

Con lampade comuni si può scendere senza difficoltà fino a onde di 180-170 centimetri con oscillazioni ben stabili ed usando uno dei circuiti già esaminati. Le perdite principali che vengono ad ostacolare e spesso ad impedire il funzionamento hanno sede specialmente nelle connessioni, nei supporti isolanti, nella lampada a cagione delle capacità interne e nei dielettrici o semi conduttori vicini.

Per esperimentare quindi con onde così corte occorre evitare queste perdite il più possibile e collocare il sistema radiante in alto e relativamente lontano dai corpi circostanti.

Il tipo di lampada impiegato e specialmente il suo *supporto*, hanno grande influenza sul funzionamento. La resistenza *AF* di quest'ultimo è spesso superiore a quella interna della lampada per la cattiva qualità del dielettrico (1).

Gli unici dielettrici che si comportano quasi come l'aria sono la paraffina e la mica di buona qualità. Tuttavia anche la porcellana può essere usata senza danno.

Risultati generalmente migliori si ottengono con lampade a corna o che almeno abbiano l'uscita di placca distante da quella di griglia. Al solito poi a parità di condizioni è possibile ottenere migliori risultati con lampade a filamento ricoperto di ossidi. Per evitare le altre perdite si esperimenterà il più possibile *nell'aria*: così ci si allontanerà dalla tavola d'esperienza o dalle pareti a mezzo di adatti sostegni, si eviterà di collocare dielettrici in prossimità di campi intensi e si rimarrà il più possibile distanti dall'oscillatore.

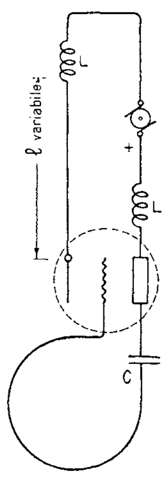


Fig. 528.

Solo in questo modo è possibile raggiungere la frequenza massima che un dato triodo può generare coi sistemi oggi conosciuti, con un rendimento non troppo basso e senza pregiudicare di molto la durata della lampada stessa.

Il circuito più facile a realizzare è quello della fig. 528, già usato per onde più lunghe. Con una spira di rame ed un condensatore formato sovrapponendo più o meno due lamine metalliche di qualche centimetro quadrato, si raggiunge generalmente la lunghezza d'onda

(1) L'usanza molto diffusa di togliere lo zoccolo della lampada è utile soltanto quando il dielettrico che lo compone è cattivo. Negli altri casi invece la diminuzione di capacità è esigua.

minima che una data lampada può permettere (essa varia fra 140 e 180 cm.).

Usando triodi più potenti può riuscire conveniente di collegare la griglia al filamento attraverso una resistenza adatta. Forzando di molto la lampada ed aumentando la tensione placca, è possibile mantenere delle oscillazioni collegando soltanto una diecina di centimetri di filo alla griglia e alla placca e facendoli correre paralleli a qualche centimetro di distanza; ampliando questo sistema è possibile fare oscillare la lampada usando esclusivamente la capacità interna e l' induttanza degli elettrodi. La lunghezza d' onda così ottenuta è dell' ordine del metro per i tipi usuali di lampade (calcolo approssimato) e potrebbe essere ancora ridotta con tipi speciali.

A questo punto nasce spontanea un' idea applicata da chi scrive con risultati molto promettenti: la costruzione cioè del « *triodo radiatore* ». Esso non è altro come il nome stesso lo afferma che un audion specialmente costruito così da avere nel suo interno tutti gli organi necessari alla generazione di oscillazioni le quali per le dimensioni ridottissime del sistema possono raggiungere frequenze molto elevate. Il disegno della fig. 529 dal quale partono le esperienze si spiega da sè. Molte difficoltà di ordine costruttivo debbono essere superate, specialmente nei riguardi degli elettrodi e della vuotatura. Essendo le esperienze tuttora in corso non è possibile scendere a maggiori particolari. Quelli che precedono hanno lo scopo di suggerire al lettore interessato la probabile via per raggiungere le più alte frequenze, così che dalla collaborazione di molti possano sorgere nuovi e più perfezionati sistemi.

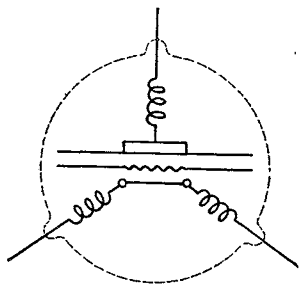


Fig. 529.

Circuiti in opposizione. — Al Mesny dobbiamo un ingegnoso montaggio che permette di raggiungere le onde più corte con potenze notevoli. Esso richiede due triodi che lavorano in opposizione alla frequenza di oscillazione. I principali vantaggi del circuito della fig. 530 sono il notevole accoppiamento che è possibile ottenere fra placca e griglia e quindi la facilità d' oscillazione; la possibilità di usare due triodi anche a frequenze elevate e quindi di avere disponibile maggiore potenza e, infine, la semplicità del montaggio.

I due triodi oltre che alla frequenza d' oscillazione possono lavorare in opposizione anche alla frequenza d' alimentazione usando il circuito

della figura 531, che può a ragione ritenersi uno dei più pratici ed ingegnosi.

Lo svantaggio principale è la intensa produzione di armoniche che però nel nostro caso può essere mutato in vantaggio non indifferente, come vedremo in seguito.

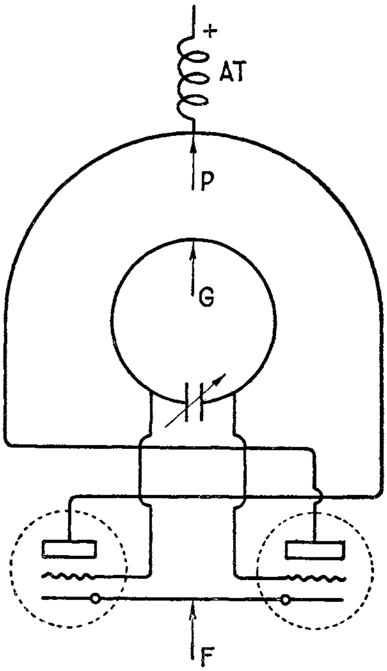


Fig. 530.

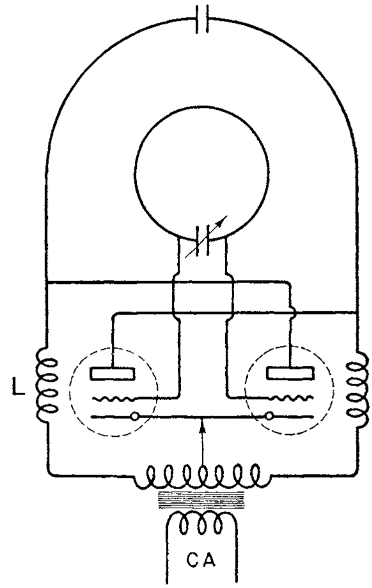


Fig. 531.

L'onda minima che è possibile ottenere con questo montaggio e con lampade usuali varia da 140 a 160 centimetri e il funzionamento è stabile e soddisfacente.

Le due induttanze *L* ed *L'* sono collegate in senso inverso e nella ricerca della frequenza più alta vengono ridotte ad una frazione di spira (diametro 7-8 cm.) ed accoppiate il più possibile.

Per raggiungere frequenze ancora più elevate si modifica l'accoppiamento così che il senso dei circuiti griglia placca sia lo stesso e quindi l'induzione mutua risulti investita, mantenendo tuttavia un accoppiamento molto stretto.

Le due induttanze si costruiscono allora collegando con un filo le placche e facendolo correre parallelo e vicinissimo ad un altro filo che collega le griglie (v. fig. 532) ed applicando le solite bobine d'arresto nei punti d'alimentazione placca e filamento.

Si potranno così guadagnare sul montaggio ordinario da 20 a 40 centimetri avvicinandosi notevolmente *al metro* di lunghezza d'onda.

Anche in questo caso è possibile racchiudere tutto l'oscillatore in un'unica ampolla con l'aiuto della quale si possono ottenere frequenze ancor più elevate, con un insieme semplice e compatto (fig. 533).

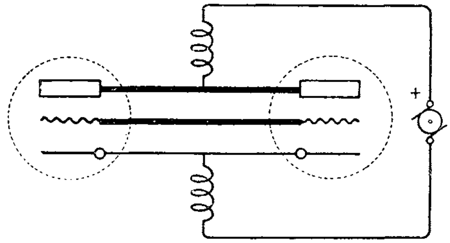
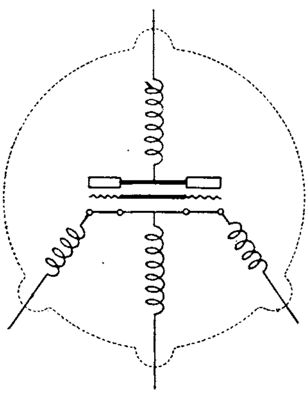


Fig. 532.

Sfruttamento delle armoniche. — È dimostrato che, anche quando la fondamentale è dell'ordine del metro, esistono armoniche molto elevate. L'intensità di queste è naturalmente molto piccola rispetto alla fondamentale quindi, compito indispensabile nel nostro caso, è la loro esaltazione.


Fig. 533.

Tutti i metodi applicati finora con cura per impedire un'eccessiva perdita di energia nelle armoniche si debbono quindi abbandonare e cercarne anzi di nuovi con effetti diametralmente opposti.

Così un'eccessiva tensione placca, accensione forzata, eccitazione molto intensa della griglia, dissimetria di connessioni ecc. contribuiscono particolarmente ad aumentare le oscillazioni armoniche a scapito della principale. Il sistema più pratico è la utilizzazione di un numero multiplo di lampade in parallelo con connessioni il più possibile dissimetriche, tensione placca elevata ed accensione spinta.

Si sono così ottenute correnti oscillanti dell'ordine di 100-200 milliamperes con una lunghezza d'onda di 30-40 centimetri rappresentanti armoniche di 4° e 5° ordine.

La realizzazione pratica di queste esperienze non è per nulla difficoltosa se si eccettua il lato economico, poichè nella maggioranza dei casi per raggiungere effetti notevoli occorre un tale sovraccarico sulle lampade da limitarne notevolmente la durata.

Con due triodi a filamento thoriato (0.25 *A* o più) in parallelo con connessioni simmetriche e variabili in modo da realizzare il circuito della fig. 528 più volte citato, con tensione placca di 2-300 volts e con

accensione spinta si ottengono correnti oscillanti molto intense fino alla quarta e quinta armonica.

Utilizzando ancora la simmetria variabile anche per il circuito in opposizione della fig. 530 si possono ottenere senza difficoltà armoniche intense fino alla 6ª e 7ª armonica (λ 25-30 cm.). Armoniche di ordine ancora superiore sarebbero probabilmente rivelate se si disponesse di apparecchi adatti e sufficientemente sensibili.

Per ottenere la variabilità nelle connessioni si usano dei tubetti metallici che scorrono uno nell'altro, che si trovano molto facilmente in commercio.

Generazione aperiodica di onde ultra corte. — Si scoperse fino dal 1919 che un triodo può generare oscillazioni di frequenza elevatissima completamente indipendenti dalle sue costanti di risonanza.

La ragione di queste oscillazioni spiegata in varie guise non è affatto evidente se pur la loro origine puramente *elettronica* sembrerebbe essere ben individuata ([1]).

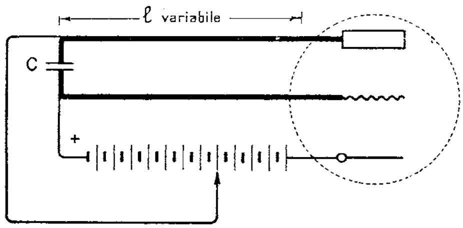


Fig. 534.

Il circuito necessario è semplice e curioso. Con esso è la griglia che è portata ad un elevato potenziale positivo mentre la placca resta fortemente negativa (fig. 534).

La lunghezza d'onda varia con l'intensità d'accensione e con la tensione griglia-placca restando indipendente da qualunque altra variazione.

Con questo sistema con triodi potenti e tensione placca e griglia di un migliaio di volts (negativi e positivi rispettivamente) possono ottenersi oscillazioni dai 40 ai 200 centimetri.

Per rivelarle basta far correre paralleli per un certo tratto i due conduttori griglia placca così da realizzare un sistema di Lecher (v. parte 5ª) sul quale un ponte mobile può rivelare i nodi e i ventri delle onde stazionarie che hanno sede nel circuito.

Risultati molto pronunciati possono ottenersi facendo variabile la lunghezza dei conduttori placca griglia (v. fig. 534).

([1]) Esistono importanti lavori sull'argomento. Il primo caso fu verificato da Whiddington nel 1919 che scoperse in una lampada *poco vuotata* oscillazioni senza l'intervento di un circuito oscillante; nel 1920 Barkhausen e Kurz ottennero analoghi risultati con un montaggio a griglia positiva cui si accenna nel testo, e infine le ricerche furono riprese da Gill e Morell che indagarono a fondo il fenomeno senza però che le loro deduzioni siano riuscite a convincere la maggioranza dei tecnici.

Ultimamente il sistema ha ricevuto un ulteriore perfezionamento coll'uso di più triodi in parallelo. Poichè in questo caso (onde dell'ordine di 30-40 cm.) l'influenza dei collegamenti risulta molto pronunciata occorre che questi siano tutti del tipo variabile così che sia possibile adattarli a risuonare su un numero finito di lunghezze d'onda. Il metodo più semplice è di *allungarli* così che risuonino su una λ esattamente multipla.

Il sistema può fornire un campo di studio molto interessante e sembra atto a produrre frequenze estremamente alte (pochi centimetri di λ) non appena il suo complesso funzionamento sarà conosciuto più profondamente.

Eccoci per ora giunti al limite della scala di oscillazioni persistenti che è oggi possibile generare direttamente. Abbiamo cioè raggiunto e sorpassato il *miliardo di periodi al secondo* ma siamo ancor ben lungi dalle più lunghe vibrazioni infrarosse (1).

Lo studio e la ricerca paziente ci mostreranno certamente in breve nuovi metodi e nuove vie per addentrarci con sicurezza in questa gamma, oggi così poco conosciuta (2).

(1) Questa è stata recentemente raggiunta ma con oscillazioni fortemente smorzate.
(2) Per ulteriori particolari nella produzione di onde corte, vedi parte 5ª.

PARTE QUINTA

CAPITOLO I.

ISTRUMENTI DI MISURA

Generalità. — L'istrumento di misura, qualunque esso sia, è la prima ed indispensabile arma dell'esperimentatore.

La parola « misura » ha tuttavia un significato molto vasto: essa va cioè dal semplice conteggio aritmetico derivato dalle indicazioni di un grossolano misuratore, alle ardue analisi matematiche che tendono di avvicinare alla realtà, le indicazioni dei più delicati e preziosi istrumenti.

Le *nostre* misure debbono essere *praticamente* accurate nell'ambito dei *semplici* mezzi dei quali individualmente è possibile disporre.

Per queste ragioni ci riferiremo sempre ad istrumenti, misure ed esperienze che rispondano ai requisiti sudetti.

L'oscillatore di laboratorio. — Nelle misure a frequenza radioelettrica la principale necessità è una sorgente di corrente alternativa la frequenza della quale possa essere variata a piacere dai più bassi ai più alti valori.

Abbiamo già accennato nella parte 3ª (pag. 256) all'oscillatore *eterodina*, il quale nella sua estrema semplicità, permette un grande numero di misure.

Un oscillatore identico a quello descritto è prezioso nel nostro caso specialmente se ad esso si apporteranno le modificazioni che stanno per seguire. L'infima sua potenza impedisce tuttavia la possibilità di accoppiare molto lascamente i vari circuiti fra loro.

Per questa ragione in un laboratorio di misure è preferibile un oscillatore più potente, che può ottenersi sia aumentando la tensione placca e e la lampada nel primo, sia costruendolo appositamente. Un oscillatore che mediante parti intercambiabili possa fornire potenze variabili può rendere più semplice ed economico l'impianto mentre l'insieme dei due oscillatori (debole e potente) permette maggiore facilità e precisione nelle misure.

Il circuito della fig. 294 si rende molto più pratico eseguendo l'alimentazione in serie anzichè in parallelo evitando così la necessità di una bobina di blocco.

Nella costruzione dell'insieme si procede come nel caso di un piccolo trasmettitore scegliendo adatte induttanze, e condensatori, principale requisito dei quali sia la rigidità e compattezza. Il condensatore variabile sull'induttanza ha una capacità massima di 1 milli-microfarad. Oltre ad una efficiente costruzione elettrica è importantissima la sua perfezione meccanica affinchè possano essere usati con vantaggio gli spostamenti più piccoli. È necessario all'uopo un verniero demoltiplicatore con un rapporto di almeno 1 a 100 (vite senza fine) ed un ulteriore miglioramento si ottiene usando la scala con nonio.

Non occorre reostato all'accensione ed è preferibile il montaggio in custodia metallica per rendere più indipendente l'oscillatore stesso.

Il circuito di griglia contiene un milliamperometro (scala massima da 1 a 5 milli a seconda della potenza) shuntato da un condensatore (2000 μμf p. e.). Questo indicatore è utilissimo nelle misure fornendo una sensibilità difficilmente superabile.

Un'ultima aggiunta utile nelle misure di precisione è quella di un condensatore variabile di capacità minima (massimo 20 μμf) in parallelo all'altro. Compito di questo è di riportare volta per volta l'oscillatore nelle identiche condizioni di taratura; ed equilibrare le piccole variazioni di λ che cambiamenti anche minimi delle caratteristiche del circuito, potrebbero determinare.

Occorre però un *campione* per eseguire il confronto. Per ogni bobina dell'oscillatore (o almeno per una di queste) si sceglie un punto di riferimento (possibilmente al centro della scala del condensatore) che si identifica a mezzo del campione. Nelle misure successive si riporta lo oscillatore sullo stesso punto e, mantenendo invariato il campione, si varia il piccolo condensatore fino ad ottenere la risonanza.

In questo modo la taratura di tutta la scala del condensatore è identica a quella originale.

Il montaggio delle parti è evidente: su un pannello metallico (alluminio o rame) si fissa il milliampermetro di griglia, la spina tripla per le induttanze e i due condensatori variabili che portano la parte mobile in contatto col pannello stesso. Gli attacchi d'accensione, placca, ecc. si fanno posteriormente.

Il circuito su descritto può essere sostituito con l'altro equivalente della fig. 535 pure semplice e facilmente costruibile.

Esso è analogo a quello della fig. 494 e può essere usato fino alle onde più corte. I condensatori C_1 e C_2 hanno un'unica parte mobile e due fisse distinte collegate a placca e griglia rispettivamente. Non occorrono bobine d'arresto e l'intensità delle oscillazioni resta costante in

tutta la gamma del condensatore a cagione dell' accordo simultaneo griglia-placca.

I valori delle varie induttanze possono dedursi da quanto si è detto in precedenza e modificati al caso esperimentalmente.

Il circuito della fig. 294 può oscillare anche a frequenza bassissima e con 10-40 mila spire su nucleo di ferro possono ottenersi frequenze dai 5 ai 1000 periodi senza difficoltà.

La tensione placca deve essere possibilmente sempre la stessa e così il grado di accensione e la lunghezza e disposizione dei collegamenti.

In questo modo la precisione e costanza della misura non avrà nulla da invidiare a quella dei migliori laboratori.

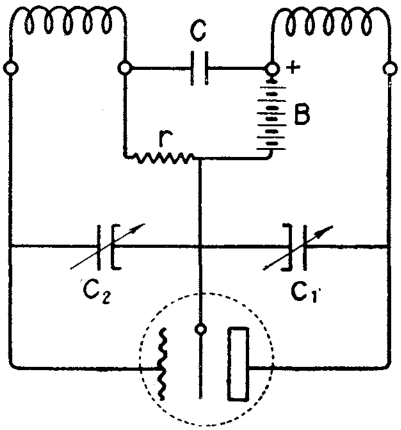


Fig. 535.

Ondametri campione. — Ci siamo già riferiti ad essi a pag. 254, quindi è inutile ripetere la necessità di una costruzione rigida ed invariabile e possibilmente dell' uso di una custodia metallica. Parte molto importante invece è *l' indicatore di risonanza* (v. pag. 249) la sensibilità del quale deve essere massima.

Però usando l' oscillatore con indicatore in griglia il circuito può essere esclusivamente formato con induttanze e capacità.

Considereremo più avanti gli indicatori necessari negli altri casi.

Un laboratorio esperimentale ben attrezzato deve possedere almeno sei di questi campioni. Essi serviranno per coprire la gamma da 8 a 1000 metri di lunghezza d' onda così ripartita: 8-20; 15-35; 30-70; 60-150; 120-250 metri. La gamma da 2 a 8 metri per essere totalmente coperta richiede almeno altri 6 campioni, mentre al di là dei 250 metri il numero necessario si riduce sempre più.

L' utilità di avere per ogni gamma d' onda un ondametro particolare è grande, sia per la facilità di misura sia per la precisione e costanza di questa.

Tuttavia l' impiego di un buon condensatore per ogni istrumento non è alla portata di tutti e in questi casi occorre ricorrere ancora alle bobine intercambiabili. Dato l' ufficio di *campione* che l'apparecchio

deve sostenere occorre superare non poche difficoltà affinchè le sue caratteristiche rimangano invariate.

Un buon condensatore variabile, con lamine ben separate e rigorosamente allineate (non inferiore a 1000 $\mu\mu$f) risolve il problema della capacità.

Per le induttanze è consigliabile usare *una sola spira* di grosso filo di rame e di diametro crescente con la lunghezza d'onda finchè questa non supera i 40 metri. Per onde più lunghe è indispensabile un sostegno molto rigido per le bobine che si avvolgeranno a spire spaziate, fissando tutto con buon strato di celluloide. Il contatto al condensatore deve essere diretto e sicuro (attraverso « morsetti » piuttosto che « spine »).

Uso dei cristalli negli ondametri. — Nel circuito della fig. 536 è facile identificare uno degli oscillatori forzati a cristallo già notati nel capitolo 6° della parte 4ª. Caratteristiche particolari sono il commutatore *I* che permettendo di inserire il cristallo sia fra griglia e placca che fra griglia o filamento rende più facile adattare lo insieme oscillatore a cristalli di varia natura che in esso potrebbero essere usati. Sul circuito placca è inserita l'induttanza risonante *C* la quale pure deve essere intercambiabile col cambio del cristallo e il milliampermetro *M* shuntato dal condensatore C_1. Con una *potente* lampada da ricezione è possibile ottenere intense oscillazioni *AT* di frequenza ben definita che si prestano col sistema delle armoniche (v. pag. 486) a dare indicazioni precise in una vasta gamma di frequenze.

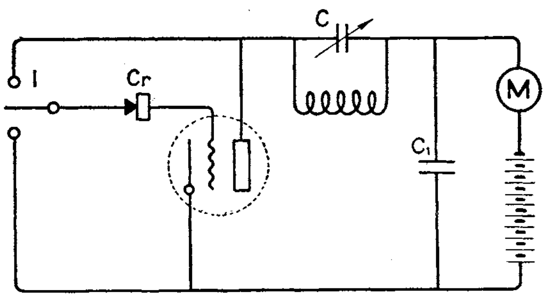


Fig. 536.

Il milliampermetro *M* serve ad indicare con una brusca diminuzione il momento d'oscillazione del circuito al variare di *C*, come pure l'eventuale risonanza con circuiti vicini. Nelle misure con un oscillatore di questo genere è tuttavia indispensabile un secondo oscillatore indipendente e a frequenza variabile in una vasta gamma con indicatore su griglia del tipo già esaminato in precedenza.

L' uso pratico degli ondametri verrà considerato nel capitolo seguente.

Il multivibratore. — Il multivibratore dovuto ad Abraham e Block è molto utile nella ricerca dei campioni d'onda per la proprietà di fornire una corrente oscillante ricchissima di armoniche relativamente intense. Ciò permette, come sappiamo, di ottenere con un unico punto conosciuto una numerosa serie di dati.

Il circuito è quello della fig. 537, dove il periodo d'oscillazione è determinato dalle capacità C e C_1 e fino a un certo punto dalle resistenze r (ordine dei 50 mila ohms). Il montaggio in opposizione è evidente e si spiega in modo semplice, pensando che ad una diminuzione di potenziale placca in un triodo, il condensatore relativo si scarica, quindi anche il potenziale neg. della griglia opposta diminuisce così da permettere il passaggio di maggior corrente attraverso il triodo e quindi una diminuzione del potenziale placca; la quale determina la scarica dell'altro condensatore e quindi della seconda griglia e così via.

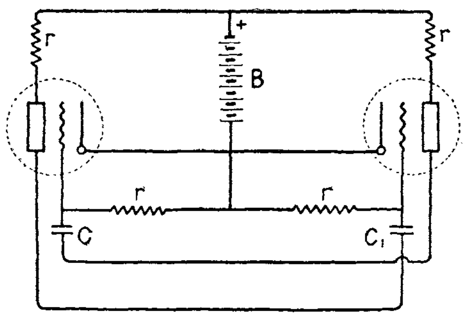


Fig. 537.

Facendo sì che il periodo del multivibratore sia di qualche migliaio di periodi (misurabile quindi con semplici mezzi e con molta precisione) si possono usare armoniche di 20, 30° ordine per ottenere precisi punti di riferimento nella gamma radioelettrica.

Per ottenere la massima precisione occorre rendere *forzato* il multivibratore. Il montaggio più semplice consiste nell'alimentare le placche con una corrente di frequenza molto vicina a quella d'oscillazione, così che l'insieme si mantenga sincrono con questa.

Usando ad esempio un *diapason* ad oscillazione forzata come eccitatore (per esempio a 1000 periodi) si ottengono ottime indicazioni nel campo radioelettrico (onde lunghe) usando le armoniche oltre la decina.

È naturale poi che una volta fissati dei precisi punti di riferimento si possono raggiungere le onde più corte con una serie progressiva di armoniche di un qualunque generatore elettrico.

Se non si dispone del diapason adatto si può, complicando l'insieme, partire da una frequenza più bassa: per esempio da quella della rete di illuminazione (40-50 p.).

Si eccita con questa un multivibratore che contenga due potenti triodi, quindi si sceglie un' armonica di ordine elevato per eccitarne un secondo.

In questo caso occorre interporre un filtro di frequenza fra i due, così da permettere il passaggio della sola armonica desiderata. Poichè è sempre possibile conoscere con buona approssimazione almeno una frequenza, la misura diventa relativa anzichè assoluta.

Amplificatore di armoniche. — Disponendo di una frequenza ben determinata di qualche migliaio o decine di migliaia di periodi, occorre utilizzare armoniche di ordine molto elevato per ottenere pratiche indicazioni nella gamma delle onde corte.

Si usa all'uopo un amplificatore di armoniche: il principio di questo è identico a quello dell'amplificatore di potenza esaminato a pag. 486 se si eccettua il fatto che la frequenza di partenza è molto più bassa. Partendo da un migliaio di periodi (eventualmente forniti da un multivibratore alimentato con corrente alternata stradale) occorrono almeno sei lampade amplificatrici per ottenere una frequenza di 3-4 milioni di periodi. Le caratteristiche costruttive variano con la potenza che si desidera ottenere. Il primo stadio a bassa frequenza è operato da una comune lampada da ricezione sulla quale è impressa la f. e. m. di frequenza nota. Essa viene direttamente amplificata dal 2° triodo (5-10 watts).

La griglia del terzo viene eccitata con un'armonica (5_a - 10_a) e pure con un'armonica di questo ordine viene eccitato il triodo successivo e così via via fino a raggiungere l'ultimo di potenza notevole per rendere il più possibile perfetta la misura.

È naturale che l'insieme deve essere scrupolosamente calibrato specialmente per conoscere l'effettivo ordine delle armoniche amplificate.

Indicatori termici di correnti AF. — Nelle misure ad *AF* il fattore più importante a determinare è l'*intensità* della corrente. Qualunque sia il valore di questa l'istrumento necessario alla sua misura deve presentare minima resistenza, capacità e induttanza affinchè la sua indicazione sia la più costante possibile in una vasta gamma di frequenze.

Il più semplice misuratore è l'ampermetro *termico* o *a filo caldo* (v. pag. 65). Esso sfrutta la dilatazione di un conduttore sottile al passaggio della corrente *AF*.

La principale caratteristica cui deve soddisfare è che la sua resistenza rimanga sensibilmente la stessa qualunque sia il valore della frequenza. Per far ciò occorre che il suo diametro sia molto piccolo. Così nelle frequenze che ci interessano questo non deve superare i 2-3 decimi di millimetro.

Ciò impedisce la misura di correnti elevate. Per questo si ricorre ad un numero multiplo di fili sottili in parallelo. Il difetto principale del sistema sta nel fatto che non essendo molto facile avere l' uniformità di tutti i fili e quindi della distribuzione della corrente in questi e una identica induzione mutua fra l' uno e l' altro filo, l' indicazione varia al variare della frequenza.

Le misure con istrumenti di questo genere debbono quindi avere una tolleranza di qualche unità su cento.

Gli istrumenti per correnti molto deboli che a noi principalmente interessano, possono considerarsi praticamente costanti su tutta la scala se si eccettuano gli errori dovuti allo spostamento dello zero e alle cariche elettrostatiche che agiscono sull' indice.

I primi sono dovuti a leggeri spostamenti dalla posizione di riposo dell' indice dopo ogni misura. Si rimedia a ciò eseguendo varie misure, riportando a zero l' indice dopo ognuna di queste e facendo la media delle letture.

La carica elettrostatica che acquista il vetro dell' istrumento specialmente durante l' inverno, agisce sull' indice in modo differente per le differenti posizioni di questo così da rendere la misura poco precisa. Il rimedio più semplice in questi casi è di *alitare* sul vetro stesso per disperdere le sue cariche.

Istrumenti a filo caldo capaci di una deviazione completa sotto 50-100 milliampere sono molto comuni in pratica e il loro costo è alla portata di tutti.

Misuratori termoelettrici. — Ponendo nelle immediate vicinanze del filo caldo o addirittura in contatto con esso una *coppia termoelettrica* è possibile misurare indirettamente il calore sviluppato e quindi la corrente, osservando l' intensità della corrente termoelettrica. L' indicatore riesce quindi un comune istrumento a corrente continua.

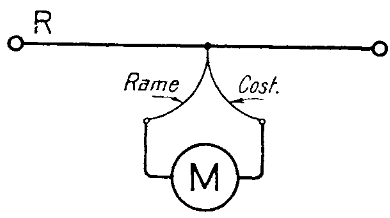


Fig. 538.

Indicatori di questo genere possono costruirsi molto facilmente quando si possegga un buon micro-ampermetro per corrente continua. Al centro di un filo resistente *R* (fig. 538) di diametro tanto più sottile quanto più debole è la corrente da misurare, si saldano due sottili fili di rame e constantana. La saldatura sia possibilmente autogena e quindi eseguita elettricamente (vedi pag. 360).

Il sistema è indicatissimo per improvvisare dei sensibili indicatori qualitativi per uso di laboratorio.

Un altro tipo più sensibile e di costruzione più delicata è disegnato alla fig. 539.

Qui i due fili resistenti sono incrociati e la corrente AF da misurare si immette fra due punti opposti (AD o CB) mentre ai due capi liberi si collega il micro-ampermetro.

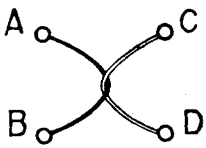
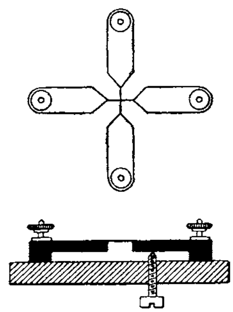


Fig. 539.

L'aumento di temperatura localizzato nel punto d'unione dei due fili determina correnti termoelettriche notevoli anche con intensità AF esigue. La sensibilità può essere perciò spinta fino da dare una scala completa con 10-20 milliamperes.

Praticamente la costruzione è molto semplice finchè la corrente da misurare è di qualche centinaio di milliampere. Basta all'uopo tendere fra quattro serrafili due fili di rame ed argentana o platino ben puliti in modo che essi si incrocino come alla fig. 539. La distanza fra i serrafili può essere di qualche centimetro.

Per correnti più deboli occorre procedere diversamente. Occorrono fili di 1-2 centesimi di millimetro (platino e rame ottenibili dai filamenti di lampade elettriche e da avvolgimenti telefonici rispettivamente). La lunghezza di questi non deve superare un totale di 5 millimetri. Si possono per questi fissare su una basetta isolante quattro laminette di ottone disposte come alla fig. 540. I rispettivi fili si incrociano così da farli passare sulle quattro punte. Queste porteranno una minuscola goccia di stagno che potrà essere facilmente fusa con una punta acuminata per mantenere ben fissato l'insieme dei fili.


Fig. 540.

Se si incontrano difficoltà nell'incrocio dei fili stessi questi possono tendersi fra AD e CB direttamente facendo in modo che una piccola differenza di livello li mantenga aderenti nel punto di incrocio.

La saldatura in questo punto è utile per mantenere costante nel tempo le caratteristiche della pila termoelettrica ma è molto difficile a realizzare. Una estrema sensibilità si raggiunge d'altra parte facendo sì che il contatto fra i due fili sia imperfetto. Ciò naturalmente rende le indicazioni dell'istrumento puramente qualitative se pure abbastanza costanti nel corso di una sola misura.

Per portare al massimo la sensibilità della coppia ho escogitato un sistema molto semplice: una delle quattro laminette ha l'altezza rego-

labile con una vite micrometrica così che è possibile variare la bontà del contatto a piacere.

Si ottengono in questo modo grandi deviazioni del micro-amperometro con qualche milliampere e poichè queste sono sensibilmente proporzionali al quadrato della corrente, l'insieme si presta egregiamente alla misura della distribuzione del campo e. m. nelle immediate vicinanze di un trasmettitore a onda corta anche senza conoscere i valori assoluti delle misurazioni.

Una sensibilità da 20 a 30 volte maggiore si otterrebbe racchiudendo la coppia in ambiente privo di aria. Ma ciò naturalmente non è alla portata dell'esperimentatore privato.

Esistono altri sistemi per aumentare la sensibilità della coppia: facendo sì che la coppia in parallelo sul micro-amperometro sia direttamente riscaldata dalla corrente *AF*, il calore riesce più localizzato e quindi l'effetto termo-elettrico maggiore. L'Austin usando un elettrodo *A* (fig. 541) di diametro notevole (che rimaneva quindi a temperatura costante) e un elettrodo *B* sottilissimo ottenne delle indicazioni buone e costanti con correnti di qualche centinaio di microamperes.

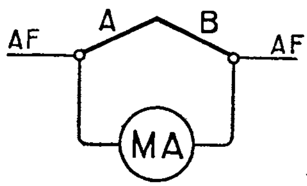


Fig. 541.

Bolometro. — Il principio del bolometro è elementare. Poichè la resistenza di un filo varia con la sua temperatura, l' intensità di una corrente *AF* può essere dedotta dalla variazione di resistenza che questa determina in un conduttore, riscaldandolo.

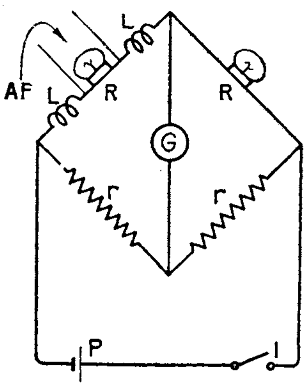


Fig. 542.

Praticamente si usa un ponte di Weastone in un ramo del quale è inserito il filo da riscaldare (una lampada elettrica ad es.). Equilibrato il ponte basta un piccolissimo aumento di temperatura di questo filo perchè il galvanometro devii sensibilmente.

Si usa porre il filo da riscaldare *R* fra due bobine d'arresto (*L* fig. 542) affinchè la corrente *AF* non possa disperdersi nel ponte. Quando si misurano correnti debolissime il riscaldamento sia pure esiguo dovuto alla corrente continua che percorre il ponte è nocivo. Si rimedia a questo ponendo nel ramo adiacente ad *R* un secondo filo che si riscaldi ugualmente.

Il bolometro si presta ad essere realizzato con mezzi molto semplici e permette un vastissimo campo di misure.

Così usando delle piccole lampade ad incandescenza nei punti *R* si possono misurare correnti *AF* da qualche frazione di amp. a vari amp. Usando lampadine speciali con conduttori di qualche centesimo di millimetro si rivelano facilmente correnti di qualche milliamperes. Operando alla pressione atmosferica (nell'aria ambiente) si possono misurare efficacemente correnti di 10-500 microamperes con fili di qualche decimillesimo di millimetro mentre gli stessi fili posti in un' ampolla vuotata possono permettere una chiara rivelazione di correnti di qualche microamperes. Il galvanometro da usarsi in questi casi dovrà avere una sensibilità di almeno un microampere per ogni divisione della scala.

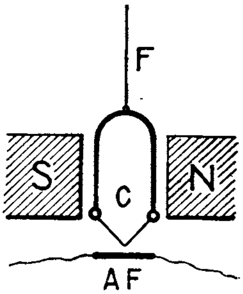


Fig. 543.

Termogalvanometro. — Questo istrumento non è altro che un galvanometro ad una sola spira mobile (fig. 543), la quale si chiude alla sua estremità inferiore attraverso alla coppia termoelettrica *C*. Ponendo vicinissimo a questa un conduttore riscaldato da una corrente *AF* la bobina mobile devia sotto l'azione della corrente termoelettrica che la percorre.

Si può raggiungere in questo modo una grande sensibilità. Occorre tuttavia che il conduttore riscaldato abbia una grande resistenza affinchè correnti molto deboli siano rivelate. Ciò è il principale difetto del sistema.

Misuratore termometrico di piccole correnti. — La fig. 544 si spiega da sè. In un recipiente chiuso *R* è posto il filo da riscaldare *F* il quale comunicando il suo calore all'ambiente e quindi dilatando l'aria contenuta fa salire l'alcool nel tubo capillare *T*.

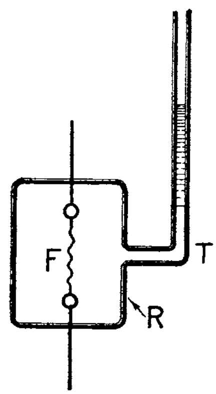


Fig. 544.

L'unico difetto del sistema è la notevole inerzia che possiede. In ogni caso però esso è capace di dare utili indicazioni con un impiego minimo di conduttori. Usando un tubetto di vetro chiuso da due tappi di gomma ognuno può costituirsi un utile indicatore di correnti *AF* anche esigue.

Un miglioramento successivo consiste nell'usare due tubi equivalenti

posti in opposizione. Supponendo di mandare la corrente in R e di notare una deviazione qualunque del cilindretto d'alcool potremo conoscere facilmente il valore della corrente AF mandando nell'altro recipiente analogo a R e posto all'estremità di T una corrente continua attraverso un milliampermetro e regolandola finchè il cilindro d'alcool ritorna alla posizione primitiva.

In questo modo, specialmente se si ha cura di proteggere l'insieme dalle influenze esterne, si possono misurare correnti di qualche milliampere fino alle più alte frequenze.

Rivelatore elettronico di deboli correnti AF. — Il metodo della fig. 545 può considerarsi ancora come appartenente ai sistemi termici. Esso usa infatti l'aumento di temperatura del filamento di un triodo attraversato dalla corrente AF, per misurare quest'ultima riferendosi allo aumento della corrente placca.

Supponiamo di portare il filamento ad una certa temperatura a mezzo della batteria B così che a minime variazioni di questa corrispondano grandi variazioni della corrente di placca. È evidente allora che mandando fra A e B una corrente AF di qualsiasi frequenza e di intensità anche esigua la sua presenza sarà immediatamente rivelata dal milliampermetro MA. Se sul filamento è intercalato un ampermetro molto preciso ed un reostato adatto si ottiene facilmente una misura quantitativa. Basta perciò finchè passa la corrente AF diminuire l'accensione fino a ridurre la corrente placca al valore primitivo. La differenza fra le due lettere dell'ampermetro A dà il valore della corrente AF.

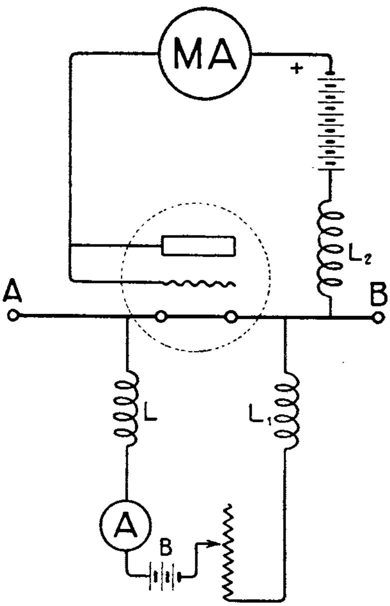


Fig. 545.

A seconda della frequenza della corrente da misurare variano i valori delle induttanze di blocco LL_1 L_2 indispensabili a localizzare la corrente AF nel filamento. La capacità di queste bobine deve essere esigua stante i valori molto ridotti della corrente da misurare.

La portata dell' istrumento varia da una frazione di milliampere a mezzo ampere a seconda del triodo usato. Per misure di correnti

molto ridotte è conveniente un triodo con filamento estremamente sottile. L'utilità di questo semplice montaggio è davvero molto grande.

Rivelazione mediante raddrizzamento. — I sistemi considerati finora sono suscettibili a mantenere costanti le loro caratteristiche nel tempo.

Trascurando questa qualità, cioè tarando il misuratore ad ogni misura, è possibile ottenere una sensibilità molto maggiore usando un raddrizzatore. Abbiamo già considerato a pag. 260 l'uso di un cristallo raddrizzatore in unione ad un galvanometro nelle misure correnti ondometriche. Il semplice circuito della fig. 298 *A* è molto utile in un laboratorio sperimentale anche modesto e la sua grande sensibilità è specialmente preziosa ad evitare accoppiamenti troppo stretti nelle varie misure.

Con un galvanometro di qualche migliaio di ohms di resistenza e con un buon cristallo si possono eseguire utilissime misure all'intorno della stazione emittente, essendo la sensibilità dell'insieme molto grande (la scala completa con un decimo di milliampere).

Le deviazioni sono sensibilmente proporzionali al quadrato della corrente *AF*. A questa categoria di rivelatori appartengono ormai tutti i ricevitori radioelettrici, quindi non ci soffermeremo a ripetere quanto si è già detto per i vari circuiti dell'audion.

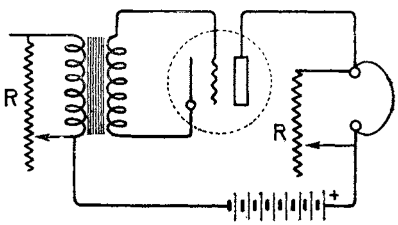


Fig. 546.

Una misura quantitativa dell'intensità dei segnali all'uscita di uno qualunque di questi ricevitori non è ancora molto facilmente ottenibile.

Un metodo universalmente noto è quello del *telefono shuntato* (fig. 546). Esso usa una resistenza variabile non induttiva, in parallelo al telefono stesso, variando la quale si portano i vari segnali ad una intensità costante o addirittura a zero, e in questo caso si deduce l'*udibilità* paragonando i valori della resistenza a valori già stabiliti in precedenza.

Il metodo è naturalmente grossolano e le misure fornite riescono variabili da osservatore ad osservatore. Tuttavia data la sua semplicità, non sarebbe affatto nocivo che l'esperimentatore possedesse in parallelo al suo telefono o sul primario di un trasformatore *BF* un piccolo « potenziometro » di 2-3 mila ohms da inserire eventualmente quando lo si ritenesse opportuno.

Nelle misure sistematiche con una *stessa* stazione a distanza, le indi-

cazioni così ottenute possono avere senza dubbio una buona approssimazione.

Voltmetro a valvola. — Consideriamo il circuito della fig. 547. Mantenendo alzato il tasto *T* si nota per ogni valore della tensione una determinata corrente placca.

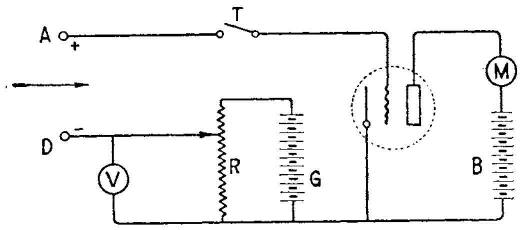


Fig. 547.

Inserendo fra *A* e *D* la f. e. m. da misurare (alternativa generalmente) si regola il potenziale di *G* a mezzo del potenziometro *R* finchè la corrente placca rimane costante, sia a tasto alzato che abbassato. È evidente che a questo punto gli effetti opposti di *G* e della f. e. m. in esame sono esattamente uguali e si annullano. La f. e. m. misurata è allora uguale alla f. e. m. continua di *G*.

Il metodo è di una grande semplicità, ma è molto più delicato di quanto si potrebbe a prima vista giudicare. Infatti le caratteristiche del circuito che fornisce la f. e. m. da misurare, l' isolamento e l' indipendenza da azioni esterne del misuratore stesso specialmente al lato griglia, influenzano notevolmente la misura non solo modificandone i valori, ma anche rendendo piuttosto laboriosa la messa a punto.

Un metodo più semplice e più efficace consiste nell' uso di una seconda batteria costantemente inserita che mantenga la griglia ad un potenziale negativo sufficiente ad annullare la corrente placca. Portando il tasto in alto si varia il potenziometro neutralizzatore *R* (fig. 548) in modo analogo a quanto si è detto in precedenza, fino ad ottenere di nuovo l' annullamento della corrente placca. Questo sistema permette la misura di tensioni molto più elevate di quelle normali di griglia ed è molto più semplice e facile a manovrare.

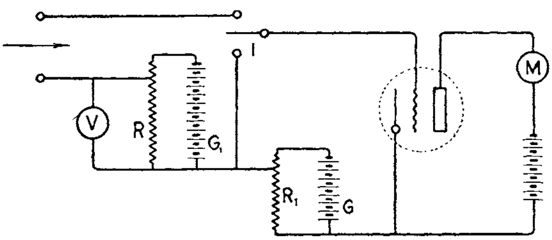


Fig. 548.

Il voltmetro sul circuito griglia è bene sia costantemente inserito, perchè la f. e. m. impressa rimanga costante il più possibile.

Conoscendo il coefficiente d' amplificazione della valvola è possibile

misurare con questo sistema tensioni anche elevate non inserendo alcun carico sul generatore di queste.

Infatti, imprimendo sulla placca del triodo la tensione in esame (fig. 549) si varia il potenziale di griglia fino ad ottenere lo annullamento della corrente placca.

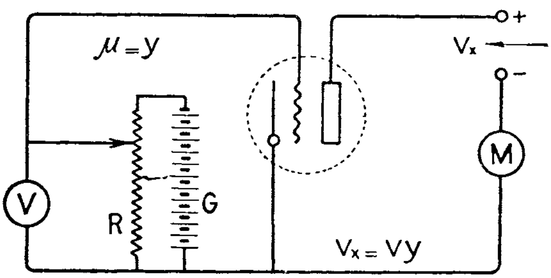


Fig. 549.

Il potenziale in esame è allora equivalente a tante volte la tensione griglia quanto grande è il coefficiente d'amplificazione.

È conveniente all'inizio della misura mantenere un valore negativo molto alto in griglia, e quindi eventualmente ridurlo, finchè si comincia a notare il passaggio della corrente placca.

La precisione della misura è buona e per gli usi correnti di laboratorio essa può considerarsi costante entro una vasta gamma di frequenze.

Voltmetro elettrostatico. Elettrometro. — Molte misure di tensione non riescono corrette a cagione del notevole assorbimento di potenza dovuta all'istrumento di misura. Così nel caso di trasmissione a piccola potenza la corrente consumata dal voltmetro in placca può essere maggiore di quella consumata dal triodo stesso. Il voltmetro elettrostatico rimedia questo difetto agendo egli come un condensatore di minima capacità.

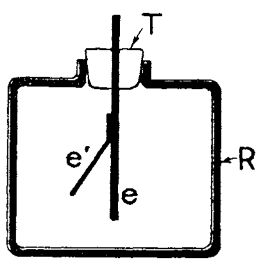


Fig. 550.

Esso non è altro che un comune elettroscopio universalmente noto, le indicazioni del quale sono conosciute nei vari punti.

La costruzione è alla portata di tutti: In un recipiente metallico o di vetro *R* (fig. 550) si fissa una sbarretta metallica *e* la quale porta appesa una sottilissima lamina d'oro o d'alluminio *e'*.

Portando *e* ad un potenziale elevato *e'* viene respinto e raggiunge una posizione angolare proporzionale alla tensione applicata. Usando una boccetta parallepipeda di cristallo è possibile disegnare sul vetro esterno la *scala* dell'apparecchio ed eseguisce quindi in modo molto semplice la lettura diretta.

All'uopo si costruisce un tappo di *zolfo* che porta al centro la sbarretta *E*. La scelta di questo dielettrico è basata sulle sue ottime proprietà isolanti.

Si pone un foglietto di stagnola ben teso o addirittura uno specchio sulla parte posteriore del recipiente così che sia possibile allineare con l'occhio l'immagine reale di *e'* e quella riflessa.

Sulla parte anteriore del recipiente si incide quindi la scala relativa imprimendo sull'elettrometro tensioni varie e note.

Un sistema che permette il montaggio dell'elettrometro anche su un « quadro » di misura è stato costruito dallo scrivente in un modo molto semplice. La scala si disegna su un vetro smerigliato applicato al quadro come un istrumento di misura qualsiasi. Al di là del vetro e ad una adatta distanza si pone l'elettroscopio l'immagine del quale viene proiettata da *L* su *V* (fig. 551).

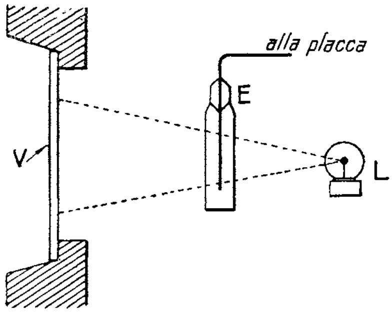


Fig. 551.

Riuscendo in questo modo ingrandita l'immagine dell'indice è possibile dare alla foglietta mobile dimensioni maggiori e quindi una maggiore stabilità.

Con una foglietta di alluminio dello spessore di 5 centesimi di millimetro si possono ottenere tutte le portate fra 300 e 3000 volts variando la sua larghezza fra 1 millimetro e un centimetro. La lunghezza della foglietta stessa dipende dalla grandezza del recipiente che contiene l'elettroscopio (5-6 centimetri generalmente).

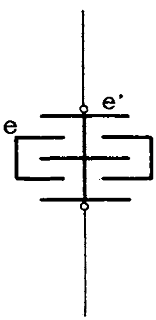


Fig. 552.

Gli elettrometri usati in pratica sono più complessi e più difficilmente costruibili. Essi generalmente sfruttano lo spostamento angolare che un elettrodo mobile sospeso a un filo compie rispetto a un elettrodo fisso sotto l'azione di un certo potenziale.

È evidente che l'insieme dei due elettrodi non è altro che un condensatore. Recentemente per aumentare la sensibilità di questo tipo di elettrometro utile fino alle più alte frequenze si sono aumentate le lamine stesse realizzando un vero e proprio condensatore variabile nel quale la parte mobile resta sospesa ad un finissimo filo metallico (fig. 552).

L'uso dell'elettrometro nelle misure vere e proprie è tanto utile quanto delicato. Esso può tuttavia servire come utile indicatore in varie

prove (vedi ad esempio pag. 484). Nelle misure quantitative occorrono tante precauzioni ad evitare errori grossolani (cariche elettrostatiche estranee ecc.) da non farlo generalmente preferire ai sistemi più semplici, sempre naturalmente nel nostro caso, dove il materiale di laboratorio è necessariamente ridotto.

Voltmetro a raddrizzatore. — Un metodo molto semplice per usare un istrumento per corrente continua (un microampermetro ad esempio) per misurare tensioni di qualunque frequenza consiste nell' introdurre in circuito un conduttore unilaterale.

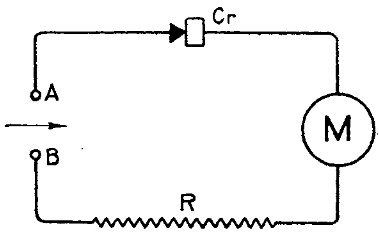


Fig. 553.

Nella fig. 553 abbiamo in C un cristallo raddrizzatore comune, in R una resistenza elevata e in M il microampermetro.

Applicando fra A e B una f. e. m. comunque alternata il circuito è percorso da una corrente pulsante unidirezionale capace quindi di fare deviare M.

L' introduzione dell' alta resistenza R (oltre 1 megaohm) ha lo scopo di rendere praticamente insensibili le variazioni della resistenza di C. In questo modo le indicazioni di M quando fra A e B è applicata una f. e. m. alternativa sono la metà di quelle dovute ad una f. e. m. continua (1).

Analoghi risultati e con maggiore stabilità possono ottenersi usando al posto del cristallo una valvola a due elettrodi o un triodo con griglia e placca unite (fig. 554).

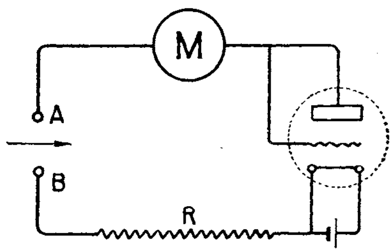


Fig. 554.

La resistenza R è ancora di almeno un megaohm e speciale cura deve essere presa ad annullare la deviazione permanente dell' istrumento M dovuta alla corrente trasportata dagli elettroni che raggiungono la placca anche senza essere attirati (v. pag. 73). Per questo occorre inserire in parallelo sulla batteria di accensione o su una piccola batteria ausiliaria un potenziometro con

(1) Così se applicando un potenziale continuo *uno* si nota una deviazione *dieci*, applicando lo stesso potenziale alternativo si nota una variazione *cinque*. Questa rappresenta inoltre la massima ampiezza del potenziale alternativo e non già il valore medio.

l'aiuto del quale, prima di ogni misura si riporta a zero l'indice di *M*. Per far ciò occorre temporaneamente cortocircuitare *A* e *B* (fig. 555).

Con un istrumento capace di dare la scala con 100 microamperes si possono così misurare facilmente potenziali a qualunque frequenza fra 0,5 e 10 volts.

Voltmetro a triodo o di Moullin. — Per tensioni ancora minori e in genere per una maggiore sensibilità i potenziali *AF* da

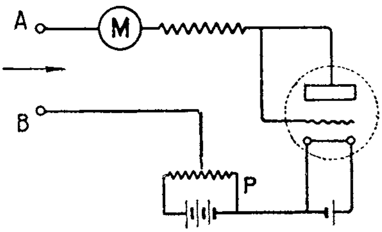


Fig. 555.

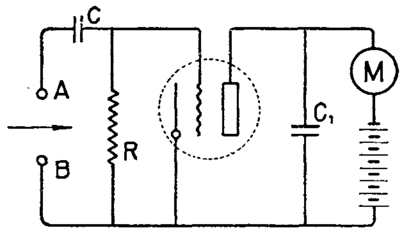


Fig. 556.

misurare si applicano sulla griglia di un triodo, sfruttandone quindi l'effetto magnificatore.

Il voltmetro di Moullin, utilissimo ed univesralmente adottato nelle misure *AF*, non è dunque che un comune raddrizzatore a triodo.

Come abbiamo veduto a pag. 90 esistono due modi per ottenere la rettificazione e cioè l'utilizzazione della caretteristica di griglia o della caratteristica di placca.

Il voltmetro a caratteristica di griglia usa un circuito molto famigliare (fig. 556). La tensione *AF* impressa fra *A* e *B* fa aumentare proporzionalmente al suo valore la carica negativa nella griglia e quindi la corrente placca si modifica in modo analogo, *M* shuntato da C_1 (molto utile specialmente se la f. e. m. applicata è modulata) ci da alfine una indicazione quantitativa della variazione.

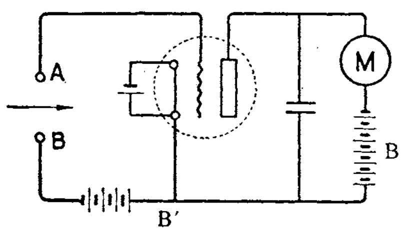


Fig. 557.

Questo voltmetro è molto più sensibile dell'altro, ma ha lo svantaggio di assorbire energia dal circuito in prova.

Usando la caratteristica di placca si diminuisce la sensibilità, ma si riduce pure il consumo a valori insignificanti. In questo caso occorrono due batterie *BB*, (fig. 557) oltre a quella di accensione.

Nelle misure si regola la tensione di B' (ponendo momentaneamente in corto circuito A e B) finchè la corrente placca si riduce a zero. Per questa ragione la tensione di B' deve sempre essere almeno uguale a quella da misurare.

La griglia non divenendo mai positiva, il suo circuito non è percorso da alcuna corrente, quindi l'effetto sul circuito in esame è insignificante.

Le tre batterie necessarie (ognuna delle quali può influire sulle indicazioni di M) rendono piuttosto incerta la stabilità dell'apparecchio per mantenere la sua iniziale taratura.

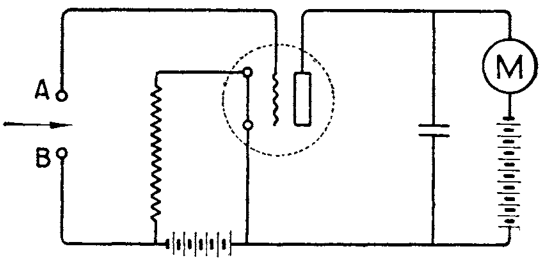


Fig. 558.

Un primo passo verso il miglioramento consiste nell'eliminare B' usando una batteria di accensione maggiore del necessario ed alimentando la lampada attraverso ad una resistenza (R della fig. 558).

In questo caso l'indice del galvanometro si riporta a zero variando la tensione placca e, se la batteria d'accensione è bene carica, le letture sono sensibilmente costanti.

Il Moullin ha semplificato recentemente il suo voltmetro eliminando tutte le batterie eccettuata quella d'accensione col circuito della fig. 559.

La resistenza r (30 mila ohms) non è indispensabile: il suo scopo è di rendere meno rapida la deviazione di M al crescere della corrente affinchè la scala riesca più uniforme. L'ufficio del condensatore è analogo quello già esaminato a pag. 541.

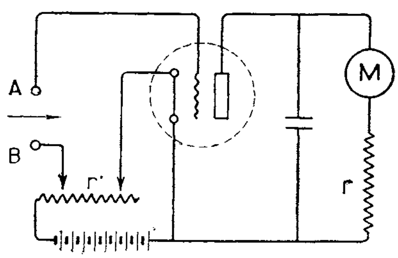


Fig. 559.

Nelle misure si mettono al solito A e B in corto circuito quindi si regola la resistenza del filamento finchè l'indice dell'istrumento raggiunge la posizione determinata sulla quale si basa la taratura [1].

È evidente ora che le condizioni possono costantemente essere

(1) Si sceglie come inizio della scala un punto prossimo alla posizione dell'indice in riposo ma non coincidente per permettere le piccole correzioni in più o in meno volta per volta.

riportate agli stessi valori in qualunque momento si esegua la misura. Non occorre affatto un accensione spinta del triodo per ottenere buoni risultati. È invece buona regola mantenere quest' ultima $^1/_3$ sotto il normale per renderne pressochè perpetua la durata.

Un voltmetro di questo tipo permette la misura di tensioni fra un decimo e 1,5 volts, presentando una resistenza dell' ordine del megaohm e quindi con un consumo dell' ordine del milionesimo di watt qualunque sia la frequenza della corrente in esame. Il condensatore C è di un microfarad e la batteria di 6 volts.

Per la taratura occorre provvedersi di una resistenza nota e non induttiva e di un indicatore termico di corrente. Il circuito della fig. 560 è evidente. Un piccolo trasformatore T fornisce la corrente alternativa a bassa tensione l' intensità della quale è indicata dall' amperometro termico A. Supponendo la resistenza di questo trascurabile rispetto a quella di R ci basta moltiplicare il valore noto di questa per l' intensità della corrente per avere il valore del potenziale ai suoi estremi.

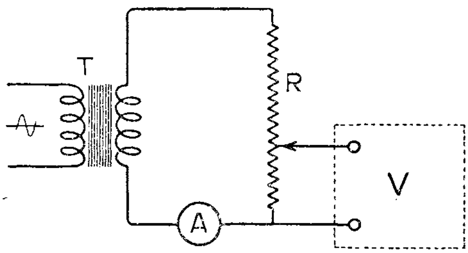


Fig. 560.

Conosciuto il potenziale basta portare il cursore C a metà, un terzo, un quarto di R per ottenere tutti i valori intermedi desiderati.

Praticamente R prende la forma di un filo rettilineo e un cursore scorrevole su questo permette di inserirne in circuito la lunghezza desiderata.

Come trasformatore T si usa con vantaggio un piccolo trasformatore da campanelli collegato alla rete comune di illuminazione. A è un usuale milliampermetro termoelettrico quando il suo acquisto riesca economicamente possibile e in questo caso la precisione della misura è notevole. Si può ottenere una buona misura approssimata sufficiente nella maggioranza dei casi, col metodo escogitato da chi scrive.

Si tende un filo metallico (ferro, rame ecc.) fra due punti distanti fra loro p. e. 50 metri; alle estremità di questo si porta (con due fili di sezione almeno quadrupla) la corrente alternativa dell' illuminazione. Supposta costante la sezione del filo, una volta che sia esattamente conosciuta la tensione della corrente è possibile con un cursore scorrente sui primi metri del conduttore ottenere ogni tensione compresa fra lo zero e qualche volta. Supposto che nel nostro caso (50 m. di lunghezza) la tensione sia di 100 volts abbiamo una caduta di potenziale di 2 volts

per metro e quindi ampio spazio per ottenere anche le più piccole frazioni. È naturale poi che il filo può essere teso in breve spazio ripiegandolo varie volte sullo stesso cammino; è tuttavia indispensabile che esso sia il più possibile libero nell'aria per evitare variazioni di resistenza dovute al differente riscaldamento delle sue varie porzioni.

Misure di C. C. Istrumenti universali. — Quando la corrente da misurare è continua o pulsante, l'esperimentatore può disporre del prezioso e sensibilissimo istrumento, detto « *a bobina mobile* ».



Fig. 561.

La precisione e regolarità della misura, la costanza di taratura e sopratutto la sua *universalità* lo fanno indispensabile anche al più modesto esperimentatore.

Il principio sul quale si basa è stato già descritto (v. pag. 66) quindi non ci resta ora che dimostrarne le pratiche applicazioni.

Per l'uso universale se ci proponiamo fare dell'istrumento è utile che la sua scala massima non richieda più di 1 milliamperes. Una portata di questo genere può essere facilmente ottenuta con istrumenti comuni senza ricorrere alla sospensione della bobina mobile. La fig. 561 rappresenta un microampermetro molto sensibile ed economico.

Per facilitare le varie letture senza dovere disegnare differenti scale è utile che le varie « gamme » dello apparecchio siano multiple decimali una dell'altra.

Così avremo scale massime ad 1, 10, 100 e 1000 milliamperes rispettivamente nelle misure di corrente e a 1, 10, 100, 1000 volts nelle misure di tensione; e il nostro unico apparecchio darà un servizio assolutamente analogo ad un gruppo di otto misuratori.

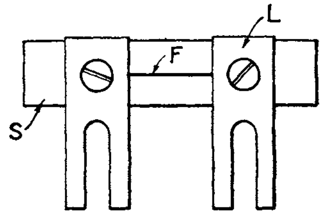


Fig. 562.

Nelle misure di corrente occorre shuntare il milliampermetro. Si costruiscono all'uopo delle basette isolanti munite di serrafili le quali possano venire ben fissate all'uscita del *MA* (fig. 562). Fra le due lamine *L* ed *L'* va infine *ben saldato* il conduttore che fa ufficio di shunt.

La lunghezza di questo è minima se si esclude eventualmente la prima riduzione (0-10 *MA*). Delle piccole porzioni di filo o meglio piattina resistente serviranno ottimamente. Nel calcolo delle resistenze si ricordi che per ogni scala esse dovranno essere 9, 99, 999 più piccole della resistenza della bobina mobile.

Ciò può dare un' idea approssimativa del loro valore ma poco vantaggio potrebbe ottenersi misurandole a parte per le inevitabili differenze che si verificherebbero al montaggio. È conveniente invece eseguire la taratura a montaggio ultimato.

Occorre all' uopo un istrumento campione che si inserisce in serie regolando la resistenza del circuito fino ad ottenere la corrente necessaria e a questo punto si regola il valore dello shunt finchè la deviazione del milliampermetro è esattamente corrispondente a quella del campione.

Per facilitare la cosa occorre che le dimensioni degli shunt siano leggermente maggiori del necessario. Così con l' aiuto di una piccola lima è possibile diminuire la loro sezione senza toccare le saldature con grande vantaggio di precisione e costanza. Il buon contatto degli shunt è molto importante non solo per la precisione di misura ma anche per evitare l' inutilizzazione dell' istrumento che potrebbe provocare istantaneamente una momentanea discontinuità dello shunt.

Per permettere la misura di tensioni sono necessarie delle resistenze in serie, e anche in questo caso occorre un campione per ottenere almeno un punto della scala. Supponendo di avere regolato le prime resistenze fino ad ottenere la scala completa con 1 volt, per ottenere la scala successiva basterà inserire una nuova resistenza variandola finchè l' indicazione risulti un decimo della precedente.

Si aumenta quindi il potenziale fino ad ottenere di nuovo la scala completa, (10 v.) quindi si inserisce una nuova resistenza per ridurla ancora ad un decimo e così analogamente per l' ultima scala o per altre successive.

Quando la tensione è elevata le varie bobine portate a notevoli d. d. p. debbono essere ben isolate fra loro.

Con l' aiuto dell' insieme suddetto tutte le misure correnti nei circuiti ricevitori e trasmettitori possono essere condotte con notevole precisione.

Galvanometri a sospensione. Costruzione. Quando la bobina mobile anzichè essere imperniata su un asse è sospesa con un filo sottile la sensibilità può essere molto più spinta.

L' istrumento a sospensione se pure non indispensabile può essere di grande utilità all' esperimentatore.

Per gli usi radio elettrici che ci proponiamo, il suo avvolgimento avrà una resistenza di un migliaio di ohm e potrà dare, usando la scala a riflessione una indicazione ben chiara con correnti inferiori al decimo di microampere. Poichè la costruzione dell'apparecchio può essere tentata da chiunque con semplici mezzi, ricordiamo per sommi capi le principali precauzioni da seguire:

È sempre preferibile trasformare un vecchio istrumento a bobina mobile, utilizzandone le varie parti (induttore, bobine per l'avvolgimento, ecc.) piuttosto che costruire completamente il galvanometro (1).

Si smonterà allora con cura l'apparecchio e la relativa bobina. Per far ciò occorre togliere il cilindro di ferro dolce concentrico a questa, che ha lo scopo di concentrare il campo e quindi di rendere trascurabili le influenze esterne.

Il rocchetto che è generalmente metallico, per diminuire le oscillazioni dell'ago, dovrà essere riavvolto per l'uso che noi ci proponiamo: l'operazione richiede molta cura affinchè il sostegno non si deformi e rimanga bene equilibrato.

Il nuovo conduttore da avvolgere deve essere molto sottile e in numerose spire se si desidera utilizzare l'apparecchio in misure radioelettriche in unione ad un raddrizzatore. Avvolgendolo con filo di 1 decimo di millimetro occorrono 300-400 spire per ottenere uno spostamento di 7-8 centimetri per micro-ampere su una scala posta a tre metri di distanza.

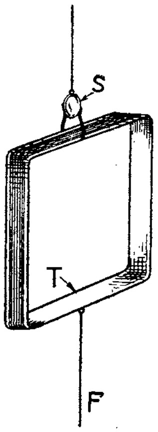


Fig. 563.

In ogni caso una resistenza d'avvolgimento maggiore di 2-3 mila ohms non è conveniente nè attuabile, con gli esigui mezzi a disposizione.

Un mezzo molto semplice per eseguire l'avvolgimento quando non si dispone di un calibro centesimale nè si conosce la resistenza del filo, consiste nell'uso di una piccola bobina tolta ad un telefono. Terminato l'avvolgimento si fissano le estremità a due piccole lastrine di rame fissate al sostegno (fig. 563). La lastrina superiore è sagomata in modo da potere ricevere lo specchietto *S* che serve a dirigere sulla scala distante, la luce di una piccola lampada posta nel suo fuoco (2).

Sistemate le due laminette si fissano a queste due pezzetti di filo di

(1) Coll'avvento della corrente alternata negli impianti industriali è d'altra parte molto facile trovare istrumenti a bobina mobile d'occasione.

(2) Questi specchietti (distanza focale 20-30 cm.) possono trovarsi presso qualche importante costruttore di istrumenti ottici per esiguo prezzo.

rame sottilissimo (5 centesimi di millimetro mass.) i quali dovranno mantenere la bobina nella giusta posizione.

Occorre perciò un sostegno speciale munito di due viti per dare al filo la giusta tensione.

È conveniente montare l'istrumento su due mensole fissate ad un muro maestro in un lato del laboratorio e proteggerlo dalle correnti d'aria con una campana di vetro o con una cassetta. — La scala si collocherà a quella distanza che per particolari condizioni di quiete dell'ambiente, d'intensità di luce e sensibilità richiesta riuscirà più adatta.

Questo semplice apparecchio in unione ad un buon raddrizzatore a valvola a caratteristiche mantenute rigorosamente costanti, può essere utilissimo nelle misure sistematiche di segnali da grandi distanze.

Ponti di misura. — Il sistema fondamentale di misura *a ponte* è quello di Wheastone. L'uso del ponte nella misura di resistenza, capacità ed induttanza ecc. permette una ottima precisione. Praticamente per non diminuire questa precisione occorre una serie di resistenze ben tarate: ciò rende l'insieme abbastanza costoso.

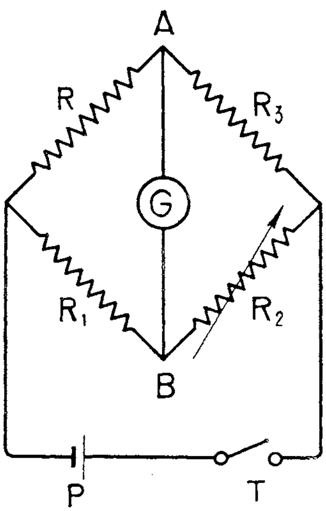


Fig. 564.

L'intensità della corrente attraverso vari circuiti in parallelo è inversamente proporzionale alla loro resistenza elettrica. Su questo principio si basa il ponte di Wheastone.

Supposto il circuito della fig. 564 siano R ed R_1, due resistenze note, R_2 una resistenza variabile nota in ogni suo punto ed R_3 la resistenza da misurare.

Affinchè il milliampermetro G non devii occorre che A e B siano allo stesso potenziale e quindi che il rapporto fra R ed R_3 sia uguale al rapporto fra R_1 ed R_2.

Se $R = R_1$, R_3 è uguale a R_2 quindi la misura si esegue direttamente leggendo i valori della resistenza variabile.

Facendo che fra R ed R_1 esista una certa proporzione è possibile con una data R_2 variabile misurare resistenze molto differenti. Supponendo R 10, 100, 1000 volte maggiore di R_1, il valore di R_3 è 10, 100, 1000 volte maggiore di quello dato ad R_2 per ottenere la stabilità del ponte.

Inversamente facendo R 10, 100, 1000 volte inferiore di R_1, R_3 risulta 10, 100, 1000 volte minore di R_2. In altri termini le quattro resistenze sono legate dalla semplice relazione $R_3 = \frac{R}{R_1} R_2$. In pratica si fa che il rapporto $R : R_1$ sia decimale così da semplificare il calcolo.

La gamma d'azione di un usuale ponte di Wheastone va da qualche millesimo a qualche milione di ohms.

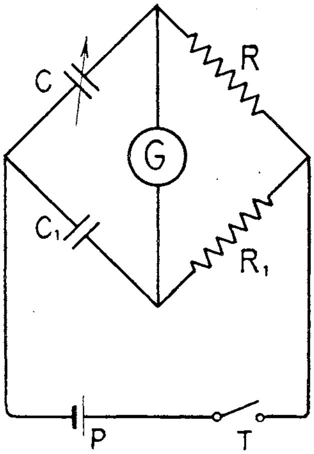


Fig. 565.

Ponte De Sauty. — Dal sistema di Wheastone sono derivati moltissimi altri per la misura di resistenza, capacità, induttanze ecc. basati essenzialmente sul primo.

Per la misura precisa e rapida di capacità il sistema o ponte più semplice è senza dubbio quello del De Sauty (fig. 565). R ed R_1 sono al solito due resistenze uguali o in rapporto decimale. C e C_1 sono rispettivamente la capacità campione e quella da misurare. Le condizioni di equilibrio del ponte si verificano quando $C : C_1 = R_1 : R$ quindi $C_1 = (R_1 : R)\, C$ analogamente a quanto si ottenne pel ponte di Wheastone.

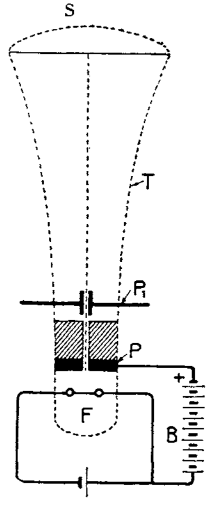


Fig. 566.

Supposto C un condensatore campione di un millimicrofarad con una variazione nel rapporto $R : R_1$ da $^1/_{1000}$ a mille si possono misurare con precisione capacità comprese fra un micromicrofarad e un microfarad. L'istrumento, per la sua semplicità è senza dubbio utilissimo ed economico.

Oscillografo a raggi catodici. — Un aiuto prezioso nel campo delle frequenze elevate si trova in questo semplice istrumento (fig. 566).

Un sottile *pennello* di raggi catodici, o in altri termini, di elettroni raggiunge lo schermo fluorescente S passando attraverso le lamine P_1. Imprimendo su queste una carica comunque variabile il pennello devia e senza la più piccola inerzia segue le variazioni di quella fino alle più alte frequenze. Lo stesso accade se al posto di P_2 si pongono delle induttanze percorse da correnti variabili.

Si possono così studiare variazioni dei campi magnetici ed elettrici a frequenze elevate con la più grande facilità.

Modernamente il pennello di elettroni si produce a mezzo di un filamento incandescente contenuto in T che porta superiormente una placca P forata al centro, così che gli elettroni una volta attratti continuino il loro cammino in linea retta, trasportando quindi sullo schermo la sezione stessa di P che appare come un punto fosforescente.

In una lampada comune basta la variazione di un volta per produrre un sensibile spostamento del punto luminoso.

Con due sistemi di lamine P_1 perpendicolari fra loro si possono studiare le relazioni di fase fra varie cariche, correnti ecc. dalle caratteristiche figure che appaiono sullo schermo.

Se in un prossimo futuro il prezzo di queste lampade verrà convenientemente ridotto, esse formeranno senza dubbio parte del patrimonio di ogni serio esperimentatore.

CAPITOLO II.

MISURE

Misura della lunghezza d'onda. — La grandezza « *lunghezza d'onda* » è relativa e dipende dal valore da noi attribuito al fattore « *velocità* ». Il classico « 300 mila chilometri secondo » appare oggi con più approssimazione fissato a 299, 820 restando tuttavia ancora incerto e malsicuro quando specialmente si ammetta una variazione di velocità con la natura del mezzo attraversato.

Ammettendo infatti differenti velocità di propagazione nei differenti punti della atmosfera (v. parte 4ª) nasce spontaneo il concetto della *variabilità* dell'onda.

Avremo cioè per ogni emissione un succedersi di onde di lunghezza variabile con le caratteristiche del mezzo: così che per una data frequenza d'oscillazione avremo onde maggiori o minori di quelle calcolate per velocità effettive maggiori o minori di quelle universalmente adottate.

Appare così impossibile la misura assoluta della frequenza e della lunghezza d'onda avendo queste due grandezze, così intimamente legate, soltanto valori relativi per noi. Il termine lunghezza d'onda non esprime quindi alcun chè di assoluto ma un *dato* universalmente adottato per ritrovare nella gamma hertziana quelle particolari vibrazioni che ci interessano.

È possibile quindi, trascurando gli errori apportati da eventuali variazioni di velocità, misurare la lunghezza d'onda con buona pratica approssimazione.

Sistema delle onde stazionarie. — Questo sistema permette di misurare *direttamente* la lunghezza d'onda e fu applicato fin dal 1890 principalmente dal Leker. Esso è infatti praticamente riconosciuto come « Sistema dei fili Leker ».

Teoricamente l'accuratezza non è molto grande e per migliorarla occorrerebbe applicare formule di correzione dedotte da analisi matematiche del fenomeno. Per l'uso pratico che noi ci proponiamo l'approssimazione è tuttavia ottima sotto ogni rapporto.

Supponiamo di immettere una corrente AF nel sistema di conduttori della fig. 567. I gruppi di onde che percorrono *a* e *b* sono in perfetta opposizione di *fase* e danno quindi luogo ad un sistema di *onde stazionarie* nei due fili.

Si noteranno cioè percorrendo questi ultimi dei massimi e minimi ben *determinati* e *fissi* di corrente e di tensione e la mistura della λ si ridurrà quindi alla misura precisa della distanza che intercede fra questi massimi o questi minimi, distanza questa precisamente equivalente ad una mezza lunghezza d' onda.

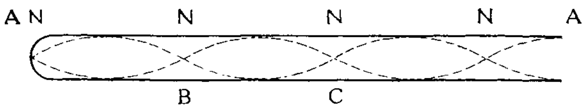


Fig. 567.

In pratica si è trovato utile non usare nella misura, la prima sezione di conduttore (AB) ma bensì la seconda sezione (BC) molto più indipendente dell' altra. D' altra parte si è pure trovato conveniente che il complesso totale dei fili non contenga molto più di una lunghezza d'onda.

Si può allora affermare che la migliore approssimazione ai fili di Leker si ha quando la loro lunghezza non è superiore nè inferiore alla λ da misurare.

Altri fattori che influiscono sulla precisione della misura sono l' influenza dei corpi vicini e la natura dello strumento rivelatore dei massimi di corrente o tensione.

Ci si può rendere praticamente indipendenti dal primo evitando l' immediata prossimità dei corpi estranei ai fili stessi ([1]) e si può ridurre al minimo il secondo usando le precauzioni che seguiranno.

Pratica dei fili Leker. — Si trova esperimentalmente, che qualunque sia la materia (purchè non magnetica) che costituisce il sistema Leker, le misure sono coincidenti. Così non si trovano differenze apprezzabili variando la distanza fra i due fili fra qualche centimetro e qualche decimetro, nè la distanza di questi dal suolo quando non ci si avvicini a meno di un metro.

Poichè è importante d' altra parte che l' istrumento indicatore sia inserito perpendicolarmente ai due fili, che la rigidità di questi sia notevole e che il ponte scorrevole possa realizzare costantemente un buon contatto, è possibile stabilire dimensioni e qualità pratiche del sistema come segue:

([1]) Si è trovato in pratica sufficiente una distanza non superiore al metro.

— Conduttori in ottone crudo o bronzo;
— Distanza compresa fra 4 e 8 centimetri;
— Diametro non superiore nè inferiore ai 2 millimetri;
— Notevole tensione dei conduttori.

Praticamente con l'uso di qualche carrucola di porcellana e di un tendifilo si possono facilmente realizzare queste condizioni (fig. 568).

Il punto C_1 deve essere accoppiato *il più lascamente possibile* all'oscillatore mentre in C i conduttori rimangono isolati fra loro.

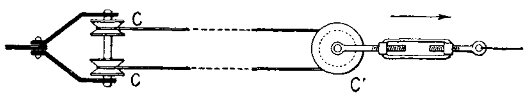


Fig. 568.

La potenza dell'oscillatore preferibilmente notevole in via di massima, varia con le qualità dell'indicatore: questo può servire sia a rivelare i massimi di tensione che i massimi di corrente.

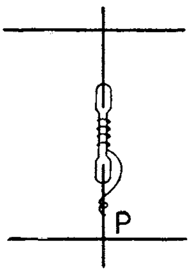


Fig. 569.

Nel primo caso occorre una potenza di almeno qualche watt e si usa come indicatore un piccolo *tubo al neon* (1). Questo si inserisce fra i due conduttori che formano il ponte. Per aumentarne la sensibilità si prolunga uno di questi a guisa di spirale sull'involucro di vetro del tubo stesso (fig. 569).

Il sistema è abbastanza preciso se pure la zona di luminosità relativamente estesa renda piuttosto incerta la precisa localizzazione del ventre di tensione. Oltre a ciò occorre tenere presente l'impossibilità di un buon contatto scorrevole e la grande influenza dell'operatore nei punti a potenziale elevato nei quali si esegue la misura.

Risultati migliori si ottengono ricercando i ventri di corrente. Quando la potenza a disposizione non è esigua l'indicatore più esatto è un milliampermetro termico di *minima resistenza*. Se si dispone di un istrumento di elevata resistenza occorrerà inserirlo attraverso il ponte P accontentandosi di una indicazione minore (fig. 570).

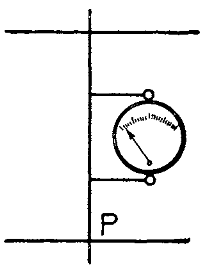


Fig. 570.

Indicazioni pure buone si ottengono quando non manca la potenza, inserendo sul ponte una piccola lampada elettrica di debole resistenza.

Misure con potenze molto ridotte possono ottenersi con grande precisione adottando il sistema seguente: l'oscillatore del tipo descritto a pag. 513 porta nel circuito placca

(1) È possibile ottenere *tubi al neon* di buona sensibilità usando quelli contenuti nei « *prova accensione* » molto noti nella pratica automobilistica.

o meglio in griglia un sensibile milliampermetro. Sui fili si fa scorrere un conduttore P munito di manico isolante (un lungo cacciavite ad esempio) fino a notare brusche deviazioni del milliampermetro che indicano i ventri di corrente (fig. 571). Con un buon oscillatore ben regolato è possibile ottenere indicazioni molto chiare anche con un accoppiamento oltremodo debole.

L' indicazione viene limitata in qualche millimetro di conduttore e ciò permette una notevole precisione.

Le onde misurabili in questo modo non possono generalmente superare i 20 metri a meno di non disporre di un vasto spazio all' esterno.

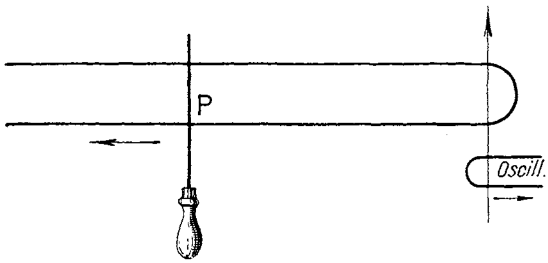


Fig. 571.

Nella misura si procede come segue: Si accoppia l'oscillatore là dove i due fili si uniscono e si fa scorrere il ponte fino a trovare il primo nodo. Si regola allora l' accoppiamento finchè l' indicazione riesce il più possibile localizzata e ben netta, quindi si marca sui fili il punto di risonanza procedendo in avanti fino a trovarne un secondo il quale dista dal primo una esatta mezza lunghezza d' onda. Fra le due misure occorre mantenere costanti le condizioni dell' oscillatore (accoppiamento, batterie, ecc.).

Una indicazione meno precisa ma ancora praticamente utile può ottenersi molto semplicemente accoppiando ai fili di Leker un comune ricevitore a reazione. Portando l' accoppiamento reattivo al minimo si otterrà il disinnesco appena i fili saranno in risonanza. Occorrono allora due operatori: il primo in ascolto all' inizio dei fili, l' altro che fa scorrere il ponte cercando il più possibile di mantenere un contatto perfetto per evitare insopportabili rumori al telefono.

Volendo eseguire da sè la misura si pone un ponte semifisso ad una distanza approssimata di mezza lunghezza d' onda quindi si porta il ricevitore a risuonare esattamente con questa. Segnata sui fili la posizione del ponte si ricerca per numerosi tentativi la seconda posizione di risonanza.

Una volta ottenuta la precisa indicazione di questa onda si può usare il primo punto di risonanza come riferimento per le lunghezze d' onda immediatamente vicine e ciò semplifica grandemente la misura.

Infatti basta portare il ponte a note distanze dal primo punto e ritrovare i punti di risonanza al ricevitore, punti che ci indicano lunghezze d'onda equivalenti alla prima misurata più o meno il doppio delle nuove distanze.

Ciò suggerisce un nuovo, molto pratico sistema di misura che permette di ottenere con precisione le lunghezze d' onda immediatamente vicine ad una λ determinata e conosciuta.

Supposta conosciuta ad esempio una λ di 40 metri si fanno risuonare su questa i due fili di Leker (primo ventre soltanto). Spostando il ponte avanti e indietro di lunghezze determinate si ottengono tutti i punti intermedi con grande precisione.

Questa precisione è molto utile per portarsi su una λ esatta quando si abbia un punto di riferimento vicino ed è tanto più preziosa perchè non richiede affatto un grande sviluppo di conduttori. Basta infatti applicare il sistema adottato da chi scrive (fig. 572). I fili hanno una lunghezza dell'ordine della gamma di onda che si desidera coprire e vengono portati alla risonanza a mezzo del circuito *A*. Supposto che la risonanza su la onda conosciuta si ottenga col ponte in *P* si otterranno al solito le lunghezze d' onda vicine muovendo il ponte stesso nei pressi di *P*. In questo modo è possibile in un locale non eccessivamente grande ottenere misure precise anche su lunghezze d' onda notevoli.

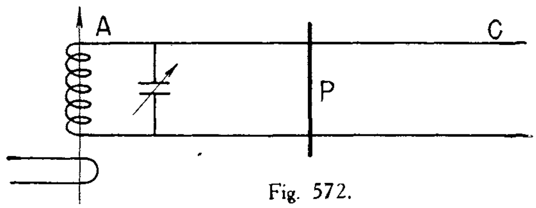


Fig. 572.

Allargando il concetto è possibile con pazienza ottenere un grande numero di punti di riferimento.

Sia ad esempio la λ nota di 30 metri e col sistema descritto si trovino tutti i punti compresi fra 30 e 35 metri. Riportato il ponte in *P* si varia il condensatore fino ad ottenere la risonanza su 35 metri (anzichè 30) e si trovano le λ intermedie fino a 40 metri. Ripetendo l' operazione si raggiungono i 45, 50, 55 metri e così via a seconda del valore di *A*.

Il sistema permette una approssimazione praticamente ottima ed è utilissimo nella pratica corrente di ricezione.

In ogni caso però la distanza *AP* deve essere la massima possibile nè mai inferiore a qualche metro.

È naturale poi che le misure che abbiamo supposto eseguite col sistema del disinnesco al ricevitore, possono e con notevole vantaggio, essere eseguite coi sistemi più precisi da prima ricordati.

Uso delle armoniche. — Parlando della taratura dell'oscillatore eterodina (pag. 257) ci siamo riferiti al *sistema delle armoniche* per ottenere con un'unica onda campione un numero qualsiasi di indicazioni.

Le piccole differenze fra queste che in quel caso potevano notarsi, dovute ad un accoppiamento troppo stretto (specialmente per le armoniche di ordine elevato a cagione della esigua potenza dell'oscillatore) possono essere rese trascurabili usando un oscillatore abbastanza potente da dare una chiara indicazione a vari metri di distanza.

L'oscillatore viene sistemato in un luogo tranquillo, sottratto ad influenze esterne (vibrazioni ecc.) e posto in funzionamento continuo per qualche tempo, avendo cura che le tensioni di placca e d'accensione rimangano costanti.

A mezzo di un ricevitore adatto ci si accorda allora sull'*emissione campione* cercando nel miglior modo di portarsi fra le due bande di battimenti.

Ottenuto l'accordo preciso, si varia la frequenza dell'oscillatore fino a raggiungere la risonanza verificando al caso varie volte se il triplice accordo è perfetto (campione, eterodina, ricevitore).

In questa ricerca occorre tenere presente l'eventuale effetto del corpo dell'operatore ed evitare che passando dall'oscillatore al ricevitore (situati ad una certa distanza) si abbiano a verificare nocivi cambiamenti di frequenza.

Sotto questo riguardo è sempre preferibile eseguire la misura in due rimanendo fissi ed immobili al proprio posto oppure disporre di un comando molto lungo per variare la sintonia dell'oscillatore senza lasciare l'istrumento ricezione.

Questo sistema *diretto* è senz'altro da preferire in ogni caso perchè il portare l'indicazione su un ondametro e il trasferirla di nuovo e a suo tempo all'oscillatore porta a notevoli errori, che così vengono evitati.

Quando le frequenze dell'emissione campione e dell'eterodina sono così prossime da dare il silenzio al ricevitore, si mantiene invariato l'oscillatore diminuendo l'accordo fino ad incontrare le prime armoniche.

Le indicazioni così ottenute possono dirsi approssimate dall'1 al 5 per mille all'oscillazione campione ed usando le precauzioni indicate a pag. 260 per il trasferimento dei vari punti così ottenuti su un ondametro campione l'errore massimo non supererà mai il 0,5 per cento.

Precauzioni nell'uso delle armoniche. — La principale ragione d'errore in questo sistema sta nell'interpretazione errata dell'ordine dell'armonica in esame e ciò con tanta maggiore facilità quanto più elevato è l'ordine stesso.

Il modo più semplice per evitare questo errore grossolano è di tracciare sulla carta millimetrata l'andamento della misura così che qualunque brusca variazione della curva risultante venga immediatamente a rivelare lo sbaglio.

Un'altra fonte d'errore molto comune ed inevitabile è rappresentata dall'interferenza fra armoniche ed armoniche anzichè fra le prime e la fondamentale.

Supponiamo infatti che con l'oscillatore su 300 metri d'onda fondamentale ci si avvicini col ricevitore all'accordo con la seconda armonica del primo (150 metri). Per far ciò occorre passare per un punto dove la terza armonica dell'oscillatore (100 metri) interferisce con la seconda armonica del ricevitore (200 metri) così da dare una indicazione equivalente a $^2/_3$ della fondamentale anzichè ad $^1/_2$. La stessa cosa accade proseguendo verso armoniche più alte e specialmente quando le armoniche del ricevitore sono intense le interferenze sono così mumerose da renderne impossibile l'identificazione.

È indispensabile in questi casi usare una bassissima tensione placca al ricevitore e portare al massimo la distanza fra questo e l'oscillatore.

Si potranno in questo modo con un breve periodo di pratica distinguere chiaramente le interferenze fra fondamentali ed armoniche dalle altre.

Usando soltanto le prime armoniche (non oltre la quarta) le indicazioni secondarie facilmente identificabili possono essere efficacemente usate per aumentare i punti di taratura.

È evidente che analoghe operazioni di taratura possono essere intraprese partendo da punti sicuri di un buon ondametro o addirittura usando un oscillatore direttamente unito ai fili di Leker. Tuttavia per onde comprese fra i 15 e i 50 metri l'uso di un'onda calibrata da un *sicuro* laboratorio in unione al sistema che precede è sempre da preferire.

Interessanti esperienze potranno d'altra parte essere intraprese combinando i tre sistemi per verificare per varie vie la precisione dei dati ottenuti.

In queste misure come in tutte le altre che seguiranno, il fattore principale di successo è un accoppiamento estremamente lasco fra i vari circuiti ed una meticolosa cura nell'accordo.

Uso delle armoniche di un circuito oscillante. — Un sistema semplicissimo e rapido per aumentare la serie dei punti noti in un ricevitore consiste nel ricercare le armoniche d'oscillazione di un circuito accoppiato al primo.

Chi ha una pratica anche breve di ricezione sa che allorchè l'antenna è fortemente accoppiata, si trovano dei punti nei quali l'innesco non avviene o riesce oltremodo difficile. Questi punti rappresentano armoniche d'oscillazione dell'antenna, così che una volta conosciuta la fondamentale è possibile trovare in questo modo ogni sottomultiplo di questa.

Un metodo più semplice consiste nell'avvicinare al ricevitore o meglio nell'accoppiare al circuito griglia di questo una bobina, la frequenza di risonanza della quale sia stata accuratamente misurata. Variando l'accordo si troveranno punti ben determinati nei quali l'innesco non si ottiene che con un accoppiamento reattivo molto stretto, punti che rappresentano le frequenze armoniche di risonanza.

Se pure un'accuratezza alquanto maggiore possa ottenersi usando un milliamperometro in placca o in griglia, si è trovato esperimentalmente che, salvo rare eccezioni, le varie armoniche non sono affatto multipli esatti, e che la differenza dei valori calcolabili sta essenzialmente nelle dimensioni delle bobine usate. Si trova cioè che per lunghezze d'avvolgimento maggiori del diametro le armoniche risultano maggiori del reale, mentre succede il contrario per lunghezze minori del diametro.

Con molta pazienza, variando diametro e numero delle spire, è possibile effettivamente ottenere una notevole precisione. Ma per arrivare a questa occorre disporre di un sistema di confronto che nel più semplice dei casi non può essere che l'insieme eterodina-ricevitore già esaminato.

Questo metodo è perciò soltanto raccomandabile quando in pochi istanti e senza alcuna apparecchiatura speciale, si desidera avere un dato *approssimato* su una λ sottomultipla di un'altra nota.

E ciò può essere spesso prezioso nella pratica usuale di ricezione.

Gli altri metodi di misura diretta della frequenza (multivibratore, amplificatore di armoniche ecc.), cui abbiamo accennato nel primo capitolo, non possono riuscire alla portata della maggioranza degli sperimentatori per la complicatezza dell'impianto e la grande cura necessaria.

Data la semplicità e la relativa buona precisione ottenibile coi mezzi precedenti, è senza dubbio preferibile lasciare questi ultimi ai laboratori specializzati.

Misura della capacità. — Le tre entità che maggiormente ci interessano sono capacità, induttanza e resistenza, e dalla buona e precisa loro misura grande aiuto può trarne l'esperimentatore.

Le capacità usate in radio elettricità, e alle quali ci riferiremo, sono

generalmente molto piccole: esse variano da qualche micromicrofarad a qualche migliaio.

Per le grosse capacità (ordine del microfarad) necessarie in certi casi particolari (filtri ad esempio) esamineremo pure un metodo molto semplice di misura.

Il calcolo matematico della capacità è molto semplice e può senza dubbio essere utile per una buona approssimazione. Tuttavia per capacità molto piccole (minori di 500 $\mu\mu$farad) la differenza fra i valori calcolati e quelli effettivi è sempre notevole per le inevitabili influenze (effetto del bordo, dei corpi vicini ecc.) che vengono in questi casi molto maggiormente sentite (1).

I metodi per la misura assoluta della capacità se pur capaci di una buona approssimazione richiedono istrumenti molto precisi. Il metodo più semplice è quello di usare un voltmetro ed un milliampermetro termici inseriti rispettivamente in parallelo e in serie al condensatore. Accoppiato fortemente il circuito ad un oscillatore si leggono per ogni determinata frequenza le indicazioni di V e di M. La capacità in micromicrofarad si ottiene poi dalla semplice formula

$$C_x = \frac{I\,10^{12}}{2\,\pi\,f\,V}.$$

La delicatezza necessaria dei due istrumenti è tanto più grande quanto più bassa la frequenza. Il metodo permette con istrumenti termoelettrici di grande precisione la misura di infime capacità ma nel caso generale il costo di impianto è rilevante. Per capacità invece abbastanza grandi (da $^1/_{10}$ a qualche microfarad) basta servirsi della corrente alternata industriale come vedremo in seguito. — Un metodo analogo che richiede però semplici istrumenti per corrente continua è mostrato dalla fig. 573.

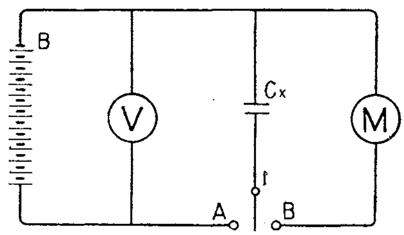


Fig. 573.

L'interrutore I che chiude il circuito verso A e verso B qualche

(1) Per le capacità costituite da due o più lamine parallele valgono le formule (1) e (2) rispettivamente dove S indica la superficie di *una lamina*, δ lo spessore del dielettrico, K la costante di questo che è uguale all'unita per l'aria ed N il numero delle lamine nel caso del condensatore multiplo.

$$(1)\quad C = 0.088K\frac{S}{\delta} \qquad (2)\quad C = 0.088K\frac{(N-1)S}{\delta}.$$

La capacità è espressa in un micromicrofarad.

centinaio di volte al secondo, ha il compito di caricare (in A) il condensatore a mezzo della batteria B, e di scaricarlo attraverso il galvanometro (in B).

Una volta conosciuta la frequenza d'interruzione n, la tensione V e la corrente I la capacità del condensatore è semplicemente data da $C = \frac{I}{n\,V}$.

Usando un buon galvanometro (microampermetro) e facendo sì che la frequenza di I sia ben nota ed alta (per esempio usando un diapason) la precisione di misura è molto buona ed ha su gli altri sistemi che seguiranno, il grande vantaggio di evitare la necessità di *un campione.*

Precauzioni generali raccomandabili sono l'isolamento *scrupoloso* del circuito e specialmente dell'interruttore e la *capacità* di questo che deve essere la minima possibile.

La tensione della batteria può essere qualsiasi fra 200 e 500 volta a seconda della capacità e del tipo di condensatore.

Esistono altri metodi di misura assoluta: ma questi possono interessare maggiormente i laboratori specializzati che l'esperimentatore privato.

Supposta quindi la disponibilità di un condensatore campione molti e svariati sono i sistemi di confronto per determinare con questo altre capacità incognite. Il sistema del ponte, già esaminato a pag. 548 si usa molto spesso in pratica e serve specialmente quando capacità molto differenti fra loro e di valori piuttosto elevati debbono essere misurate. Al di sotto dei 300-400 micromicrofarad l'uso del ponte diventa meno pratico per l'aumentata difficoltà di ritrovare le condizioni di equilibrio. Una modifica e semplificazione del sistema De Sauty è la seguente: Si usa corrente alternata (qualche centinaio di periodi) e si ascolta al telefono T (fig. 574) regolando C, fino ad ottenere la minore intensità.

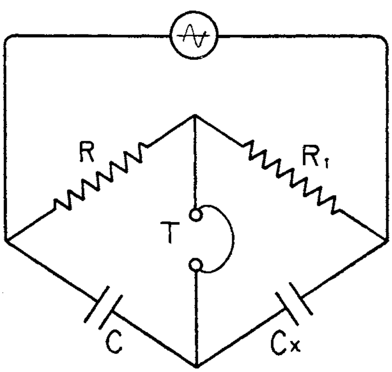


Fig. 574.

Facendo le due resistenze R ed R_1 identiche fra loro la capacità ignota C_x è in questo caso uguale a quella C.

La semplicità di questo misuratore è davvero estrema poichè l'unica parte veramente importante è il condensatore campione. D'altra parte anche la rapidità di misura è notevole senza pregiudicare la precisione.

L'unico difetto del sistema sta nella difficoltà di misurare deboli capacità specialmente per il suono continuo che si ode al telefono dovuto al passaggio di correnti attraverso le capacità parassite dell'insieme stesso.

Dati pratici utili possono essere i valori delle resistenze (5-6 mila ohms) e il generatore della corrente alternata (un semplice vibratore a cicala).

Misura della capacità ad AF. — Misure molto più accurate si ottengono usando correnti ad alta frequenza e sfruttando il principio di risonanza.

Il sistema di confronto più semplice è quello della fig. 575. Si accoppia l'oscillatore ad L e si varia C_1 fino ad ottenere la risonanza.

Si toglie allora C_x e lo si sostituisce col condensatore campione che si varia fino a riportare il circuito alle condensazioni primitive. Il campione mostrerà allora la esatta capacità di C_x.

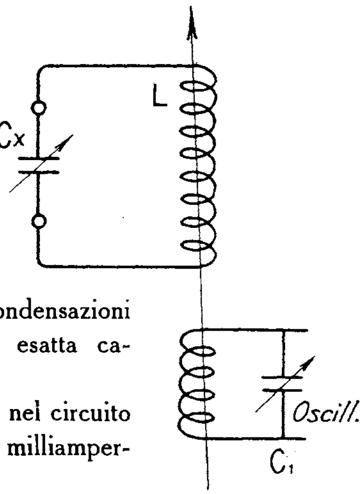


Fig. 575.

Per osservare la risonanza basta che nel circuito griglia dell'oscillatore vi sia un sensibile milliampermetro (v. pag. 526).

La precisione di confronto così ottenibile è superiore all'uno per mille nei casi più sfavorevoli.

Una precisione molto maggiore si ottiene usando due oscillatori separati e sfruttando il principio dei battimenti per determinare la risonanza.

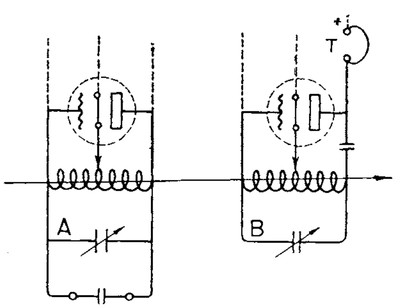


Fig. 576.

Sia A il condensatore campione nel circuito di un oscillatore (fig. 576) e si faccia in modo che la taratura per ogni suo punto sia inversa al normale, e cioè siano notati i valori decrescenti della capacità partendo da un punto massimo determinato [1].

Portato A su questo punto si varia la frequenza di B fino a stabilire il perfetto accordo (silenzio fra

[1] Supposto ad esempio di sfruttare una capacità massima equivalente ad uno spostamento di 170° si parte da questo punto procedendo verso lo zero e annotando valori crescenti di capacità. In altri termini si considera 170° come punto *zero* della nostra scala invertita.

le due bande di battimenti). Si disaccoppiano i due oscillatori finchè la zona di silenzio è limitatissima e bastano leggerissimi movimenti a destra o a sinistra per ottenere battimenti (a bassa frequenza).

Per portarsi nelle migliori condizioni occorre che i due oscillatori siano montati in distinte custodie ed alimentati con le stesse batterie. Allora anche ponendoli a grande distanza fra loro (e quindi evitando le influenze reciproche) si ottengono chiarissime indicazioni.

Ottenuta la risonanza si collega in parallelo ad *A* il condensatore di capacità non conosciuta, quindi si diminuisce *A* fino ad ottenere ancora la perfetta risonanza.

La capacità viene allora immediatamente letta sulla scala invertita del condensatore. La precisione di misura è spesso superiore ad $^1/_{10000}$ quindi non di rado maggiore alla tolleranza di taratura concessa al campione stesso. Esistono metodi ancora più precisi basati in analoghi sistemi che permettono un accordo spinto fino a 5-6 parti in centinaia di milioni, ma questi hanno interesse pratico in applicazioni speciali piuttosto che nelle misure poichè come già si disse al confronto di una tale precisione i più perfetti campioni ci apparirebbero straordinariamente diversi fra loro.

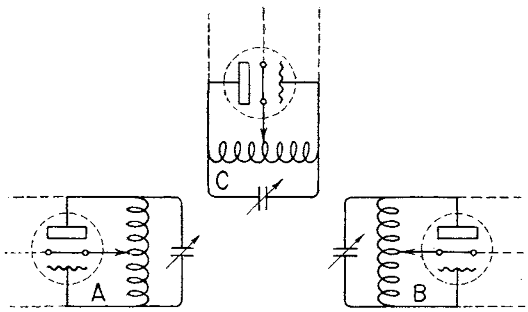


Fig. 577.

Un sistema molto semplice capace di rivelare una variazione di capacità di qualche centesimo di micromicrofarad è rappresentato dalla fig. 577. I due oscillatori *A* e *B* sono posti ad una certa distanza ed hanno gli assi dei loro avvolgimenti paralleli. Un terzo circuito *C* contiene un raddrizzatore e un microampermetro. Si accorda dapprima *A* con *C* quindi *B* con *AC* e la corrente in *C* raggiunge il suo massimo. A questo punto la più piccola variazione nella capacità di *A* o di *B* fa bruscamente deviare il microampermetro.

Una sensibilità ancora maggiore si ottiene usando in *C* un terzo oscillatore e sfruttando il principio dei battimenti.

In questo caso occorre prendere speciali precauzioni per evitare le influenze esterne le quali si fanno sentire da incredibili distanze [1].

[1] Nelle prime esperienze di questo genere occorreva operare dalla mezzanotte alle tre del mattino per essere liberi dalle influenze della città. Questi sistemi hanno trovato applica-

La lunghezza d'onda migliore per questo genere di misura dovrebbe essere teoricamende la più corta possibile così che la gamma dei battimenti rappresentasse una infima parte della scala del condensatore.

Tuttavia si è trovato in pratica che per frequenze troppo elevate nocive influenze divengono predominanti e riescono ad alterare la misura, in modo speciale poi quando condensatori a dielettrici *solidi* di varie qualità vengono ad essere esperimentati.

L'onda migliore, dedotta praticamente, si aggira sui 1000 metri. Volendo spingere ancora la precisione è senza dubbio molto utile la protezione metallica dei vari circuiti.

La sensibilità del sistema, unita all'economia di impianto, lo rende indispensabile in ogni laboratorio. Grandi servizi possono trarsi da esso per la misura di capacità comprese fra 10 e 10 mila $\mu\mu$ farad.

Misura di capacità elevate con un piccolo campione. — Quando la capacità del condensatore campione (C) è molto piccola e si desidera tarare un grosso condensatore variabile (C^1) si procede in questo modo: Collegati in parallelo i due condensatori, si porta al massimo C quindi si varia C^1 fino ad ottenere la risonanza e si marca con precisione il punto così ottenuto (naturalmente al principio della scala).

Si comincia allora a diminuire per gradi C aumentando gradualmente C' e marcando i vari punti. Quando C è al minimo (ultimo e massimo punto noto di C_1 per ottenere nuove indicazioni si lascia C_1 invariato e si riporta C al massimo.

Si aumenta allora la lunghezza d'onda dell'oscillatore fino a riottenere la risonanza e si comincia di nuovo a diminuire C crescendo C_1 finchè C è di nuovo al minimo.

Nuovo aumento di lunghezza d'onda e così via finchè tutta la scala del grosso condensatore è stata coperta.

Misura di piccole capacità con grandi campioni. — Quando si dispone di un campione relativamente grosso e si desidera calibrare un condensatore variabile molto piccolo si procede in modo analogo, ma in questo caso data la grande differenza angolare delle due letture, la precisione di taratura è essenzialmente basata su una variazione di capacità perfettamente proporzionale allo spostamento angolare.

In altri termini supponendo di dover calibrare un condensatore di

zione nella misura di lunghezze e pesi quasi infinitesimi. Ultimamente un sistema analogo è stato applicato con successo all'aviazione per indicare l'avvicinarsi della terra (aumento di capacità).

50 $\mu\mu f$ totali (C_1) con un campione che abbia 10 $\mu\mu f$ per divisione (C) occorreranno soltanto 5 divisioni di C per avere tutta la scala di C_1.

È quindi evidente che per potere basarsi su questa scala occorre una variazione (lineare di capacità) così che da due punti di essa se ne possano dedurre tutti gli intermedi.

Verificato ciò e messi in parallelo C e C_1 si raggiunge la risonanza con C_1 verso la fine della scala (non oltre 170°) e con C su una divisione *intera* qualunque. Si aumenta quindi C di due o tre divisioni (20-30 $\mu\mu f$) e si diminuisce proporzionalmente C'.

Si ottiene così un'aumentata indicazione della stessa variazione di capacità che, divisa in parti uguali, può dare ogni punto intermedio con sufficiente precisione.

Misura semplice di grandi capacità. — Riprendendo il concetto svolto a pag. 559 è possibile, per capacità dell'ordine del microfarad, realizzare un semplice, rapido e sicuro misuratore.

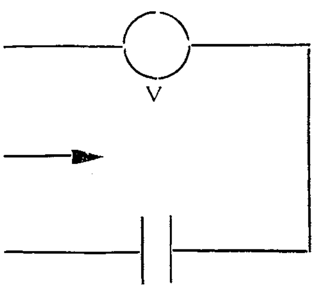


Fig. 578.

Il circuito della fig. 578 richiede ben poche spiegazioni: la corrente alternativa del settore stradale viene impressa sul voltmetro a corrente alternata V attraverso la capacità da misurare la retatanza della quale dipende dal suo valore così che per varie capacità, varie saranno le indicazioni del voltmetro.

Usando alcuni condensatori telefonici da 0,5-2 microfarad si può tarare molto facilmente l'insieme: All'uopo si provano da prima le singole capacità uguali le quali, se ben costruite, danno indicazioni sensibilmente uguali. Si aggiungono allora gradualmente in parallelo marcando sulla scala punti equidistanti (per esempio di μf in μf).

Con vari gruppi in serie si possono alfine ottenere le capacità minori fino a 0,05-0,1 microfarad.

Il sistema è specialmente utile nella costruzione dei filtri livellatori (v. pag. 409).

Misura delle perdite dei condensatori. — Vedremo più avanti come è possibile misurare con precisione la resistenza e quindi le perdite di condensatori, induttanze ecc. Il metodo che segue permette senza impiego di alcun istrumento delicato e speciale, una sensibilità difficilmente superabile.

Si realizza all' uopo il circuito della fig. 579 (un semplice oscillatore) la capacità variabile del quale deve essere equivalente o maggiore di quella da esperimentare.

Regolando l'accensione, il potenziale placca, gli accoppiamenti reattivi, la capacità e la resistenza griglia ecc. si porti il circuito molto prossimo al disinnesco e si faccia in modo che questo si verifichi con una *forte* variazione nella corrente placca (in più o in meno) [1].

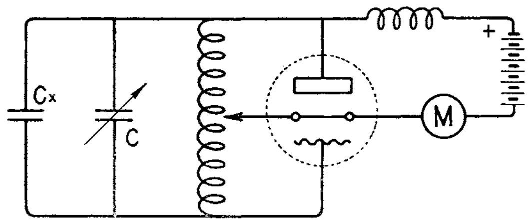


Fig. 579.

Si porta il circuito ad oscillare su una determinata frequenza quindi si pone in parallelo sul condensatore variabile la capacità in esperimento diminuendo poi il primo fino a ritornare in risonanza. È evidente ora che per quanto piccola sia la resistenza del nuovo condensatore essa si aggiunge immancabilmente a quella del circuito, così che questo tende al disinnesco con naturale variazione nella corrente di placca. Il sistema è sensibilissimo.

Le misure non sono affatto quantitative ma possono servire di utilissimo confronto fra varie capacità.

Si possono così paragonare fra loro condensatori ad aria e rilevarne grandi ed inaspettate differenze. Nel confronto dei condensatori a dielettrico solido occorre aumentare notevolmente la stabilità e con tutto ciò riesce spesso difficile mantenere il circuito in oscillazione (specialmente se la frequenza è elevata e la capacità notevole).

Questo semplice montaggio è molto utile nella scelta e nel collaudo di qualunque genere di capacità per uso radio-elettrico (comprese fra 100 e 10 mila $\mu\mu f$).

Misura dell' induttanza. — L' induttanza, secondo importantissimo fattore radio elettrico è molto più difficilmente calcolabile e misurabile e la principale ragione di ciò sta nel fatto che essa non è mai effettivamente « *pura* » ma sempre unita a capacità e resistenza.

Esistono moltissime formule più o meno complicate per calcolare l' induttanza ma ad esse non ci riferiremo sia perchè i dati ottenuti sarebbero troppo discordanti dagli effettivi a cagione delle alte frequenze

[1] In questo caso toccando C la corrente placca deve aumentare o diminuire di 2-3 milliamperes.

da noi usate, sia perchè riesce più conveniente in pratica adottare i valori di *induttanza apparente* (induttanza + capacità ecc.) che quelli assoluti molto difficili ad ottenere.

Per approssimazione di qualche unità su cento ricordiamo tuttavia l'espressione $L = 2KR^2N^2b$ che può spesso esserci utile nell'uso di piccole induttanze con spire ben spaziate. Essa esprime il valore dell'induttanza L per un avvolgimento a un solo strato di N spire per centimetro, con una lunghezza totale b, ed un raggio R rispetto al quale il diametro del filo dell'avvolgimento sia trascurabile. La costante K infine è relativa al rapporto fra la lunghezza b dell'avvolgimento e il suo raggio R.

Per rapporti di 0,5; 1, 2, 4 quali possono interessarci nel nostro caso il valore di K secondo alcuni esperimentatori è rispettivamente di 7, 2; 10, 4; 13, 6; 16.

Analogamente alla misura di capacità, quella dell'induttanza può eseguirsi a bassa o ad alta frequenza. Ma mentre i valori ottenuti potevano dirsi praticamente identici nel primo caso così non succede nel secondo a cagione della capacità mutua fra spira e spira che diventa sempre più importante col crescere della frequenza.

Una misura diretta dell'induttanza può ottenersi dai valori del potenziale e della corrente in essa per una frequenza data usando la formula $L = \frac{V10^{12}}{I4\pi f}$ analoga a quella usata nel caso della capacità. Occorre all'uopo un sensibile milliampermetro termico per misurare I e un voltmetro che assorba una potenza estremamente piccola.

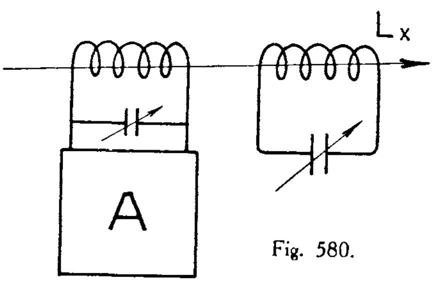


Fig. 580.

Dati pratici se non più precisi, almeno più utili, si ottengono col sistema della risonanza. In questo caso la precisione si basa essenzialmente su un buon condensatore campione e su un ondametro preciso.

Si forma un circuito oscillante con l'induttanza da misurare e il condensatore campione e si accoppia quest'ultimo il più lascamente possibile all'oscillatore A (con milliampermetro in griglia (fig. 580).

Variando C si trova la risonanza su una frequenza n che si determina: l'induttanza apparente è allora data dalla $L = \frac{\pi^2 n^2}{4C}$.

La misura è precisa perchè nel nostro caso (onde corte) la capacità

in parallelo all'induttanza è sempre rilevante in confronto della capacità distribuita di questa.

Quando invece i due valori sono vicini occorre eseguire la misura per vari punti del condensatore e fare la media dei risultati ottenuti.

Misura della capacità distribuita. — Sappiamo che i valori di induttanza ottenuti coi metodi precedenti sono apparenti e modificati principalmente dalla capacità distribuita. La misura di questa può essere eseguita in svariatissimi modi: il più semplice usa ancora l'oscillatore con indicatore in griglia al quale si accoppia l'induttanza.

Trovata la risonanza e misurata la lunghezza d'onda relativa si shunta l'induttanza con un piccolo condensatore campione. Per una serie di posizioni di questo si annotano i rispettivi valori della lunghezza d'onda (che si trovano variando il condensatore dell'eterodina).

Si portano quindi su due assi ortogonali (su carta millimetrata) i quadrati delle lunghezze d'onda ottenute e le rispettive capacità che dovranno dare luogo ad una linea retta che taglierà l'asse delle capacità in un punto sensibilmente equivalente alla capacità distribuita dell'avvolgimento. Un metodo semplice per sostituire il condensatore variabile in parallelo all'induttanza è stato escogitato dall'Howe. Egli unisce agli estremi dell'induttanza due piccole sfere metalliche, munite di piede che pone a varie distanze per ottenere la necessaria variazione di capacità, facilmente calcolabile.

Un secondo ingegnoso metodo è dovuto al Meisner il quale produce una variazione nella capacità distribuita immergendo l'avvolgimento in un liquido di nota costante dielettrica.

In questo caso se il sostegno della bobina è molto ridotto si può affermare che la capacità distribuita aumenta proporzionalmente al valore di questa costante. Anche in questo caso unendo l'induttanza al condensatore campione si trova la risonanza con l'oscillatore prima e dopo l'immersione. Supponendo che le capacità del campione siano rispettivamente C_1 e C_2 e supponendo l'immersione in *olio di paraffina* (costante dielettrica sensibilmente uguale a 2) la capacità distribuita dall'avvolgimento è molto semplicemente data da $C_1 - C_2$.

Il sistema è così semplice che può essere efficacemente applicato in ogni laboratorio: esso richiede soltanto un condensatore la *percentuale di variazione* del quale sia conosciuta.

La sua utilità è notevole nella ricerca e nello studio dei vari tipi di avvolgimenti usati nella pratica radio-elettrica.

Un ultimo sistema, che non presenta difficoltà, si basa sull'uso delle *armoniche* di un oscillatore.

Sia ad esempio a ricercare la capacità propria dell'induttanza L. Si unisce questa al solito campione C e si accoppia il complesso all'oscillatore, variando C fino ad ottenere la risonanza. Si annota con precisione la capacità di C quindi la si diminuisce fino a trovare la risonanza con la seconda armonica dell'oscillatore. Poichè la frequenza varia inversamente alla radice quadrata della capacità, la capacità totale per portare la stessa induttanza a risuonare su frequenza doppia, è la quarta parte della primitiva.

Le due indicazioni sono però affette della capacità propria dell'induttanza che è tanto più evidente quanto più si diminuisce C.

Chiamando C_1 e C_2 le capacità relative alle due letture abbiamo effettivamente capacità $C_1 + c$ e $C_2 + c$ le quali rispondono alla relazione $C_1 + c = 4\ (C_2 + c)$ dalla quale $c = \frac{C_1 - 4\, C_2}{3}$. Per una maggiore precisione si può ripetere la misura per varie frequenze e con armoniche più elevate. L'unico difetto del sistema è che l'effetto di capacità distribuita essendo variabile con la frequenza, le indicazioni relative non sono rigorosamente identiche nei vari casi.

Tuttavia per usi correnti la sua semplicità lo fa spesso preferire al precedente.

Misura della resistenza. — Fra i vari sistemi escogitati per misurare la resistenza dei circuiti percorsi da correnti *AF* il più semplice è senza dubbio quello calorimetrico.

Noi conosciamo la relazione che lega la potenza (calore prodotto in un tempo I) alla resistenza e all' intensità della corrente ($W = RI^2$ v. pag. 20). Ora è sufficiente porre il circuito in esame in una camera d' aria chiusa perchè dal valore della potenza spesa che così può ottenersi e dall' intensità della corrente possa dedursi la resistenza.

Praticamente si costruiscono due scompartimenti identici: in uno di questi si racchiude il circuito o la porzione di circuito da misurare, nell' altra una resistenza nota percorsa da corrente continua il valore della quale si regola finchè le temperature (stabilizzate) nei due ambienti sono uguali. Uguali sono allora anche le rispettive potenze. Chiamando I e I_1 le rispettive intensità (alta frequenza e corrente continua) ed $R\ R_1$ le resistenze rispettive dei due circuiti abbiano evidentemente

$$W = W_1 \qquad R_1 I_1^2 = RI^2$$

quindi

$$R = \frac{R_1 I_1^2}{I^2}.$$

Il metodo è suscettibile di una buona precisione e si presta facilmente per misurare la resistenza dei condensatori, conduttori, induttanze ecc. I due recipienti a chiusura ermetica debbono come già si disse essere assolutamente identici e le misure di temperatura si eseguono dopo un certo tempo quando cioè si è raggiunto l'equilibrio. Per evitare poi eventuali errori dovuti a differenze fra i due recipienti si eseguono due misure scambiandoli, quindi si fa la media dei risultati. Esamineremo più avanti altre applicazioni di questo semplice sistema.

Quando si dispone di resistenze campione capaci di mantenere il loro valore fino alle più alte frequenze, esistono altri metodi di misura non meno precisi del primo. La principale caratteristica dei conduttori usati come resistenza in misura AF è l'estrema loro sottilezza. Ciò li rende pressochè indipendenti dalla frequenza ma nello stesso tempo limita grandemente l'intensità della corrente che li può impunemente attraversare.

Il diametro generalmente usato è compreso fra 2 e 10 centesimi di millimetro. Inserendo la resistenza occorre tuttavia rammentare che essa rappresenta una *induttanza* che può alle volte non essere trascurabile e quindi modificare la precisione di misura. Per rimediare a questo difetto si costruiscono le varie resistenze con piccole porzioni di filo resistente comprese fra due segmenti di filo grosso di rame così che la lunghezza totale dell'insieme sia sempre la stessa (fig. 581).

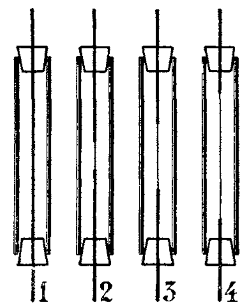


Fig. 581.

Le varie unità si racchiudono poi in tubetti di vetro che servono di protezione e per una migliore intercambiabilità. La lunghezza del filo resistente varia da qualche decimo di millimetro a qualche centimetro mentre la necessaria lunghezza totale non è per le misure usuali mai maggiore di 10-15 cm.

Uno dei tubetti (1) si costruisce con un unico filo di rame grosso. Questo viene continuamente inserito nel circuito (prima del confronto) per equilibrare in gran parte le modifiche nell'induttanza totale che l'inserzione delle singole resistenze potrebbe apportare.

Disponendo allora delle resistenze campioni il più semplice metodo di misura è quello della sostituzione. Si accorda cioè il circuito a risuonare sulla frequenza dell'oscillatore e si misura esattamente la corrente che lo percorre restando inserita la porzione di resistenza incognita. Tolta poi quest'ultima si sostituisce ad essa quella particolare resistenza che riporta l'indicazione al valore primitivo. La precisione è buona e l'unico apprezzabile difetto sta nella possibilità di misurare la resistenza di una

parte soltanto del circuito. Un sistema che rimedia a ciò è quello così detto a *variazione di resistenza*. Si realizza il circuito della fig. 582 e ponendo in R il tubetto a resistenza zero si misura con precisione la corrente (I) che attraversa il circuito alla risonanza (milliampermetro termico M). Si inserisce allora una resistenza di valore noto (R_1) e si osserva la nuova indicazione (I_1) di M. La resistenza R del circuito durante la prima misura è allora data dalla relazione:

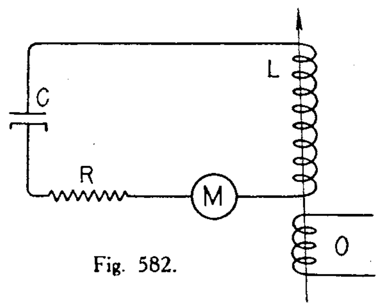


Fig. 582.

$$R_1 = \frac{I_1}{I - I_1}$$

quando si supponga perfettamente sinusoidale la f. e. m. impressa.

Usando potenze relativamente deboli e quindi un sensibile milliampermetro il principale fattore che può influire sulla precisione di misura è l'induzione elettrostatica nel circuito da parte dell'oscillatore di f. e. m. estranee. Il rimedio più semplice è di schermare con ogni cura quest'ultimo.

Un'altra precauzione importante è di inserire la resistenza campione in un punto a potenziale AF molto basso. Ciò può ottenersi facilmente sia mettendo a terra un lato del milliampermetro, sia le armature mobili del condensatore. Inoltre occorre che l'accoppiamento con l'oscillatore non sia troppo stretto. Per verificare ciò si apre e chiude rispettivamente il circuito da misurare: nessuna variazione nella corrente dello oscillatore deve verificarsi quando il grado d'accoppiamento è giusto.

Un ultimo metodo molto più rigoroso e preciso è quello così detto *a variazione di reattanza*. Esso è principalmente basato sull'acutezza di sintonia che è tanto minore quanto maggiore è la resistenza del circuito.

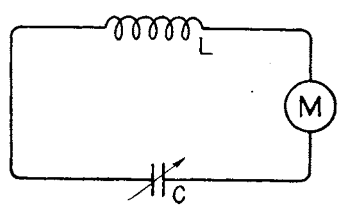


Fig. 583.

Dato ad es. il circuito LC (fig. 583) si trova la risonanza esatta con l'oscillatore (Cr) e si annota la precisa indicazione di M (Ir). Si varia allora il condensatore campione di un certo valore (Ca) e si legge ancora la corrente di M (Ia).

La resistenza del circuito alla determinata frequenza f è allora data dalla formula:

$$R = \frac{\pm (Cr - Ca)}{2\pi f \, Cr \, Ca} \sqrt{\frac{Ia^2}{Ir^2 - Ia^2}}.$$

Lo stesso risultato si raggiunge misurando la corrente (Ir) alla risonanza quindi variando il condensatore verso due punti a e b a destra e a sinistra dei quali la corrente di M (Iab) sia identica. Chiamando Ca e Cb le capacità rispettive del campione in a e b la resistenza del circuito è data dalla

$$R = \frac{Ca - Cb}{4\pi f\, Ca\, Cb} \sqrt{\frac{Iab^2}{Ir^2 - Iab^2}}.$$

Per semplificare il calcolo si è escogitato un sistema molto semplice il quale permette di eliminare il termine sotto il segno di radice. Basta all'uopo variare il condensatore dalla posizione di risonanza finchè il quadrato della corrente misurata nel nuovo punto sia esattamente *metà* del quadrato della corrente di risonanza.

Supposta ad esempio una corrente risonante di 10 unità ($Ir^2 = 100$) questa deve essere ridotta mediante variazioni del condensatore a circa 7 unità ($Iab^2 = 50$). In questo caso il rapporto sotto il segno di radice si riduce all'unità quindi viene eliminato.

Per evitare il calcolo dei quadrati delle correnti si sono costruiti milliampermetri *tarati secondo i quadrati della corrente.*

Usando questi ultimi l'operazione di misura è semplicissima: annotata infatti l'indicazione di M alla risonanza la si riduce alla metà variando il condensatore.

La resistenza è allora data pei due casi precedenti di misura dalle:

$$R = \frac{\pm\, Cr - Ca}{2\pi f\, Ca\, Cr}$$

$$R = \frac{Ca - Cb}{4\pi f\, Ca\, Cb}.$$

L'utilità dell'indicatore quadratico è quindi evidente.

Misura del decremento. — Poichè il *decremento* che abbiamo definito alla pag. 34 dipende esclusivamente dalla residenza totale del circuito esso può direttamente dedursi dagli stessi dati che ci esprimevano il valore di questa.

Così dalla prima formula, dai valori delle correnti e delle capacità nei punti a ed r si ottiene

$$\delta = \pi \frac{\pm\,(Cr - Ca)}{Ca} \sqrt{\frac{Ia^2}{Ir^2 - Ia^2}}$$

mentre dalla seconda dai valori delle capacità nei punti a e b, e delle intensità Iab Ir si ottiene la

$$\delta = \pi \frac{Ca - Cb}{Ca + Cb} \sqrt{\frac{Iab^2}{Ir^2 - Iab^2}}.$$

È evidente che anche in questo caso l'uso di un misuratore a scala quadratica elimina il termine sotto radice e semplifica di molto il calcolo. Una ulteriore semplificazione si ottiene costruendo il condensatore variabile in modo che il logaritmo della capacità sia direttamente proporzionale alle divisioni della scala. Il decremento può allora leggersi direttamente sulla scala del condensatore.

Misure sulle antenne. Fondamentale. — L'antenna, complesso di capacità, induttanza e resistenza distribuite in uno spazio spesso notevolissimo, si presta molto difficilmente a misure precise e richiede spesso laboriosi e costosi attrezzamenti. Ci riferiremo nel nostro caso ai sistemi suscettibili della maggiore economia e facilità d'impianto.

La prima misura è naturalmente la ricerca della frequenza di risonanza o *fondamentale* (v. pag. 212). Essa è generalmente conosciuta con buona approssimazione nella maggioranza dei casi, sia da calcoli approssimati sia dal comportamento dei ricevitori i quali, specialmente se molto accoppiati all'antenna stessa, entrano più difficilmente in oscillazione o non s'innescano affatto sulla fondamentale.

In ogni caso la fondamentale è sempre quella determinata dal complesso antenna induttanza e contrapeso (v. pag. 213). Per trovare con la migliore approssimazione la fondamentale del solo complesso radiante esterno si avvicina a quest'ultimo il solito oscillatore e si varia l'accordo fino ad ottenere una brusca indicazione del milliampermetro la quale ci fornisce la misura cercata. Questa non è naturalmente rigorosa per l'accoppiamento relativamente stretto (una frazione di spira e spesso una intera spira) necessario, ma d'altra parte è più che sufficiente. Disponendo di un sensibile milliampermetro termico e di un potente oscillatore si può ottenere la fondamentale perfetta poichè l'indicazione è ottima anche a vari metri di distanza.

D'altra parte però l'utilità di conoscere l'esatta fondamentale del solo sistema radiante è molto relativa poichè evidentemente la sua fondamentale *di lavoro* sarà sempre modificata dalla induttanza in serie e dall'accoppiamento col trasmettitore o ricevitore. Quindi sembra naturale l'utilità di misura in condizioni normali di lavoro (e quindi con l'accoppiamento relativo). In questo caso il piccolo oscillatore da laboratorio più volte ricordato dà una indicazione ottima anche a notevole distanza dall'induttanza d'accoppiamento.

Con lo stesso sistema possono trovarsi i punti armonici di risonanza ed eventualmente può rivelarsi la presenza di qualche circuito con periodo prossimo a quello dell'antenna.

Capacità ed induttanza dell' antenna. — La capacità è forse l' unica grandezza dell' antenna che può ottenersi con sufficiente approssimazione *pratica* con misura diretta.

Uno dei metodi più semplici è il seguente:

Si inserisce una induttanza nell' antenna e si trova la risonanza a mezzo dell' oscillatore. Lasciando invariato questo ultimo *si toglie l' induttanza dell' aereo*, la si shunta col condensatore campione variando il quale si ritrova la risonanza con l' oscillatore. Si annotano allora i valori λ_o e C_o (rispettivamente lunghezza d' onda dell' oscillatore e capacità del campione).

Si inserisce una nuova induttanza nell' antenna (maggiore della prima) e si trova la risonanza con l' oscillatore, quindi si ripete l' operazione col condensatore campione in parallelo, si annotano i nuovi valori λ_1 e C_1 si fanno i rapporti

$$A = \frac{\lambda_1}{\lambda_o} \quad \text{e} \quad B = \frac{C_1}{C_o}$$

e allora la capacità dell' antenna è data con buona approssimazione dalla

$$C_a = \frac{C_1 (a^2 - 1)}{A^2 - B}$$

capacità espressa in microfarad se con questa unità si sono espresse le letture precedenti.

Dal valore della capacità si ottiene quello dell' induttanza in microhenry dalla

$$\lambda_o = \frac{\lambda_1^2 (C_o - C_1)}{3552\, C_o C_1}.$$

Questo secondo Murray. Esiste un altro sistema di misura diretta, il il quale richiede due induttanze campione.

Inserita la minore di esse (L_a) nell' antenna si trova la risonanza e si annota la lunghezza d' onda relativa (λ_a) procedendo quindi allo stesso modo per la seconda (L_b) e (λ_b).

L' induttanza apparente dell' antenna è allora data dalla

$$L = \frac{L_b \lambda_a^2 - L_a \lambda_b^2}{\lambda_b^2 - \lambda_a^2}.$$

Una volta trovata L si ottiene facilmente la capacità apparente dalla

$$\lambda_b = 1884 \sqrt{(\lambda_b + L)\, Ca}.$$

La precisione massima ottenibile in queste misure è di qualche unità per cento.

Uso dell'antenna « artificiale ». — Un metodo molto più preciso di misura che si presta anche per altri scopi consiste nel costruire una induttanza ed una capacità perfettamente paragonabili a quelle dell'antenna e di eseguire su queste ultime le misure.

Supposta inserita l'induttanza L alla base dell'antenna (fig. 584) e l'interruttore I collegato all'antenna si trova a mezzo dell'oscillatore la risonanza.

Si inserisce quiundi il circuito locale (con L^1 a zero) e si varia C fino ad ottenere ancora la risonanza. Il valore di C ci esprime grossolanamente la capacità dell'antenna.

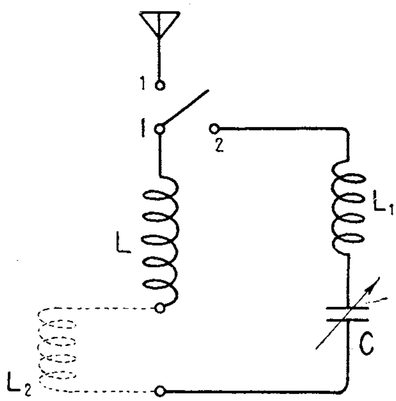


Fig. 584.

Si inserisce quindi in B una piccola induttanza L_2 e di porta I alla posizione 1 fissando la frequenza di risonanza a mezzo dell'oscillatore. Se le caratteristiche del circuito locale fossero identiche a quelle della antenna ponendo l'interrutore in 2 dovrebbero ancora verificarsi condizioni di risonanza, ciò che invece non accade. Si varia allora L_1 e C in vario modo finchè i due circuiti (antenna e locale) siano esattamente concordi sia alla frequenza F_1 (senza l'inserzione di L_2) che alla frequenza F_2 (L_2 inserita).

A questo punto la capacità, l'induttanza e la resistenza dell'antenna sono esattamente uguali alla capacità, induttanza e resistenza del circuito locale.

Il procedimento è abbastanza laborioso e richiede tempo, pazienza e pratica ma si presta a dare ottimi risultati.

Per misure più rapide e naturalmente meno precise si può fare a meno della induttanza L_1 costruendo il circuito artificiale con un solo condensatore in parallelo all'induttanza d'aereo. In questo caso la capacità del condensatore necessaria ad ottenere la risonanza rappresenta la *capacità equivalente* dell' antenna o in altri termini un valore capacitativo equivalente al complesso di capacità, induttanza e resistenza della antenna. In tutte queste prove è indispensabile evitare l'accoppiamento elettrostatico dell'oscillatore. Ciò si ottiene tenendolo molto distante dal circuito in misura (3-5 metri) ed eseguendo l'accoppiamento magnetico a mezzo di una linea AF (un cordoncino per impianti luce ad esempio) o racchiudendolo in custodia metallica come più volte si è accennato.

Quando si pretende una buona precisione nelle misure su gli aerei la costruzione dell'antenna artificiale è indispensabile.

Resistenza d'antenna. — Sappiamo che il nome resistenza di antenna ha un significato molto vasto (v. pag. 209). Nelle misure che seguiranno noi ci riferiremo a quella particolare resistenza totale (reale o equivalente) R per la quale si verifica l'eguaglianza: W (potenza nell'antenna) $= RI^2$. Questo dato rappresenta un termine di paragone e confronto che può servire ai nostri calcoli, ma non è affatto reale specialmente perchè ancor troppo poco si conosce sull'energia irradiata e sulle reazioni che nascono da questa irradiazione. Stabilito di chiamare *resistenza dell'antenna* questo dato di confronto, abbiamo vari modi esperimentali per ricercarlo.

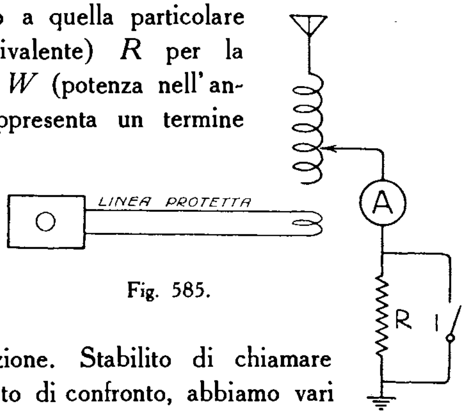


Fig. 585.

Il più semplice sistema è quello a *variazione di resistenza.* Si accoppia *magneticamente* all'antenna un oscillatore abbastanza potente per dare una chiara indicazione nel termo-ampermetro A. Si inserisce quindi la resistenza R la quale viene variata finchè A (fig. 585) segna una corrente esattamente metà.

È evidente che in questo caso la resistenza è doppia di prima quindi R esprime esattamente la resistenza d'aereo. Occorre assicurarsi che non vi sia reazione fra l'antenna e l'oscillatore e allo scopo interrompendo varie volte I non si deve notare alcuna variazione nella corrente placca, griglia o oscillante di O.

L'accuratezza del sistema è molto limitata ma la sua semplicità lo rende utile in pratica. In ogni caso occorre tenere presente che la resistenza dell'indicatore A deve essere molto piccola al confronto della resistenza d'aereo, per non mascherare i risultati.

Il metodo del « circuito artificiale » è molto più rigoroso: occorre il circuito della fig. 584 ma operando nel nostro caso con oscillazioni *persistenti* si può fare senza difficoltà a meno dell'induttanza L_1 poichè l'aumento di resistenza che si ottiene variando il condensatore è identico nei due casi.

Si può allora realizzare il circuito della fig. 586 dove R rappresenta la resistenza da inserire nel circuito locale affinchè la corrente oscillante sia identica a quella d'antenna.

Il condensatore C, la resistenza del quale si somma a quella del circuito, deve essere scrupolosamente curato per presentare perdite minime e quindi minima resistenza. È bene tuttavia nelle misure di precisione potere conoscere questa resistenza la quale oltre che dal costruttore, può ottenersi nei modi in precedenza indicati.

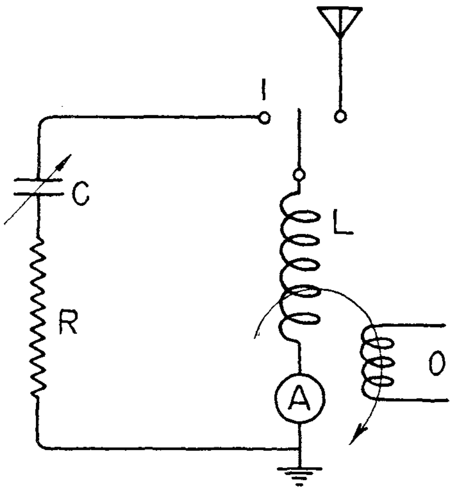


Fig. 586.

Il procedimento della misura è il solito: sintonizzata cioè l'antenna sull'onda prescelta per la misura si accorda *esattamente* a questa l'oscillatore e si annota la corrente oscillante. Si ripete varie volte la misura per evitare specialmente errori dovuti ad imperfetto accordo, assicurandosi fra l'altro che la reazione fra L e l'oscillatore non sia eccessiva e che non esista accoppiamento *diretto* fra L e la bobina dell'oscillatore.

Ottenuta la necessaria pratica, la misura si esegue molto rapidamente con buona precisione: possono allora tracciarsi per ogni determinata antenna le curve di resistenza in relazione alla lunghezza d'onda.

Queste curve molto regolari quando si esperimenta con precisione e in località libere (fig. 587 A) presentano delle brusche deviazioni quando la misura è grossolana e specialmente quando nelle vicinanze dell'antenna esistono dei circuiti assorbenti in risonanza. Nella localizzazione di questi la misura della resistenza è molto utile quando naturalmente sia fatta con la necessaria precisione.

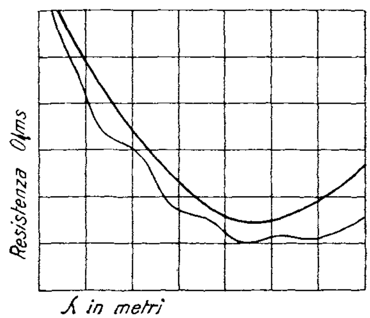


Fig. 587.

Ma il conoscere la resistenza di antenna serve sperimentalmente nella messa a punto dei trasmettitori quando si desidera cioè studiarne il *rendimento*. Sappiamo infatti che conoscendo la resistenza e la corrente d'aereo è possibile stabilire la potenza antenna dalla $W = RI^2$ e che conoscendo la potenza d'alimenta-

zione W_a si ottiene facilmente il rendimento $R = W : W_a$ quando si trascurino le perdite dovute alla corrente griglia.

Il conoscere la resistenza d'antenna permette infine all'esperimentatore di stabilire con buona approssimazione il valore della corrente d'aereo e quindi di preoccuparsi *positivamente* per valori esigui o eccessivi di questa.

Misura indiretta della R d'antenna. — La possibilità or ora considerata di calcolare il rendimento del trasmettitore basandosi sulla resistenza d'antenna, suggerisce il probabile procedimento inverso e cioè la possibilità di calcolare la resistenza d'aereo dalla misura di rendimento. L'unico metodo pratico, preciso e alla portata di tutti per misurare questo rendimento è *calorimetrico* (v. pag. 568) modificato naturalmente per le particolari esigenze di questa misura. Innanzi tutto per ridurre al minimo la percentuale d'errore è necessario non operare con potenze troppo piccole. Il metodo dei due recipienti ermetici può essere applicato con successo senza difficoltà. Occorre costruire all'uopo due identiche cassette di legno in una delle quali si possano racchiudere le lampade oscillatrici e nell'altra la resistenza a consumo calcolabile. Quando le due camere sono in identiche condizioni di temperatura si accendono in modo normale i filamenti e si regola la resistenza di confronto affinchè le due temperature d'equilibrio coincidano. In buone condizioni il calcolo delle potenze consumate nei filamenti e nella resistenza deve dare valori sensibilmente uguali.

A questo punto si applica la tensione placca e si fa oscillare il circuito in modo normale (collegandolo naturalmente all'antenna).

Raggiunto di nuovo l'equilibrio in ambedue i recipienti la potenza misurata nel solito modo è con buona approssimazione equivalente a quella *dissipata sulla placca d'oscillazione.* Ora poichè la potenza totale si consuma in placca, in griglia e nell'antenna basta calcolare o trascurare la potenza griglia per avere la potenza antenna. Una volta ottenuta quest'ultima si trova la resistenza antenna con l'aiuto della corrente oscillante.

Questo metodo è alla portata di tutti e permette di misurare potenze dissipate sulla placca dell'ordine del watt senza alcuna difficoltà purchè si curi la costanza delle tensioni durante tutto il periodo delle misure e si verifichino buone condizioni di uguaglianza fra i due compartimenti (1).

(1) Abbiamo tuttavia veduto come piccole differenze fra i due recipienti possano venire compensate eseguendo due misure scambiando fra loro i recipienti stessi e calcolando la media dei valori ottenuti.

Quando la potenza a disposizione è notevole e non si desidera che un dato pratico si può ottenere una approssimazione non inferiore al 20 per cento senza nessun istrumento speciale. Si regola cioè la potenza alimentazione finchè la placca comincia ad arrossare ed acquista un colore ben definito (rosso ciliegia ad esempio). Si lascia funzionare il triodo per qualche minuto per assicurarsi della stabilizzazione. Si fa allora disinnescare il circuito collegando direttamente la griglia al filamento e si regola l'alimentazione fino ad ottenere lo stesso colore di arrossamento della placca. Poichè in questo caso tutta la potenza è consumata sulla placca, otteniamo facilmente questa potenza misurandola all'alimentazione.

Questo valore sottratto a quello ottenuto durante il periodo d'oscillazione ci dà la potenza e quindi la resistenza approssimata d'antenna.

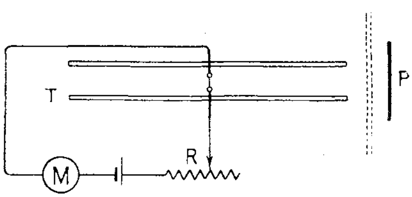


Fig. 588.

Un miglioramento non indifferente si ottiene sostituendo al giudizio indeterminato dell'occhio, un confronto con un altro corpo riscaldato. A ciò servono i *pirometri luminosi* che permettono di seguire con precisione le variazioni di temperatura basandosi sulla luce emessa.

Supponiamo infatti di osservare la placca P arroventata attraverso un lungo tubo annerito. Noi vedremo un disco rosso all'estremità del tubo (fig. 588). Ora se facciamo attraversare il tubo da un filamento metallico che possa arroventarsi a mezzo di una pila, ci è sempre possibile con l'aiuto del reostato R di regolare la temperatura del filamento finchè il suo colore si confonda con quello della placca. E in questo caso il milliampermetro M ci dà una misura di corrente perfettamente proporzionale alla temperatura del filamento e quindi della placca. È allora possibile in qualunque condizione futura ritrovare esattamente quella temperatura.

Praticamente si usa una comune lampada da illuminazione (5-10 candele 100-150 volta) che si interpone con qualche artificio fra due sezioni del tubo d'osservazione (diametro 1-1.5 cm., fig. 589) e si usa un reostato di 100-1000 ohms di resistenza a seconda della tensione.

Il sistema permette una buona precisione ed ha l'unico difetto di richiedere l'arrossamento della placca. Ora se ciò può essere nocivo a qualche triodo del commercio il breve tempo impiegato nella misura non può affatto pregiudicarne la durata. D'altra parte esistono moltissimi triodi che lavorano al rosso in condizioni perfettamente normali.

Volendo tuttavia evitare ciò si può ricorrere ancora al *termometro* che si sistema nelle immediate vicinanze della lampada o si applica alle pareti della stessa a mezzo di un batufolo di cotone.

Si attendono allora le temperature d' equilibrio con circuito oscillante e disinnescato (che debbono coincidere) e si ottengono le rispettive potenze. A meno però che la temperatura raggiunta non sia elevata, il sistema risulta troppo sensibile alle variazioni ambienti. Tuttavia in un locale tranquillo e con molta cura l' approssimazione è praticamente buona.

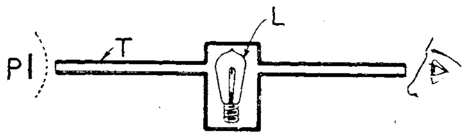


Fig. 589.

In tutte queste esperienze e calcoli la potenza dissipata nel circuito griglia può essere sottratta a quella antenna per una maggiore precisione: precisione tanto più necessaria quanto meno perfetta è la messa a punto dell' oscillatore a cagione dei valori relativamente elevati che in questo modo può raggiungere la potenza dissipata in griglia. Inserendo un milliampermetro nel circuito di questa (tipo comune per CC) si ottiene la potenza ricercata moltiplicando il quadrato della corrente per il valore in ohms della resistenza di griglia.

Misura dell' intensità del campo e. m. — La misura *assoluta* dell' intensità del campo elettromagnetico generato da un radiatore, cui accenneremo in seguito, presenta molte difficoltà e richiede grande cura e istrumenti delicati.

Invece la misura *relativa*, utilissima specialmente durante serie di esperienze, dove occorre confrontare fra loro vari dati, anzichè paragonarli ad unità internazionali, può essere condotta da chiunque con la massima facilità.

Nelle immediate vicinanze (da qualche decimetro a qualche metro) dalle induttanze e dall' antenna percorse dalla corrente oscillante, misure relative alla distribuzione del campo si ottengono con un semplice ondametro munito di indicatore (lampada, tubo al neon o milliampermetro).

Nei primi due casi, quando cioè l' indicazione non è quantitativa, si varia la distanza nei vari punti affinchè l' indicazione rimanga costante, e in questo caso i dati ricercati si ottengono per ogni punto dalle rispettive distanze lineari. Il metodo è naturalmente molto primitivo, ma dà buone indicazioni per la messa a punto dei trasmettitori. Così si possono localizzare i campi delle varie induttanze, la distribuzione di corrente

nell'antenna ecc. facendo semplicemente passare in prossimità di questi l'ondametro su citato.

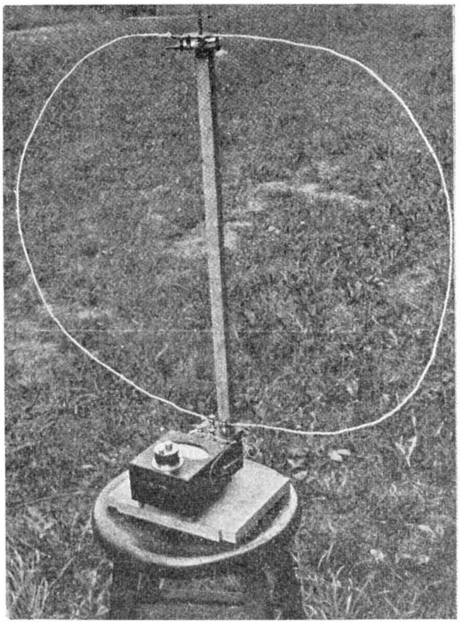


Fig. 590.

Nello studio sul comportamento ed efficacia dei vari aerei, sulla dirigibilità di questi, sulla concentrazione o riflessione dell'energia ecc. è molto utile un istrumento capace di dare indicazioni relative d'intensità a distanze da 30 ai 200 metri dall'antenna.

Questo può facilmente costruirsi usando una sensibile pila termoelettrica ed un buon microampermetro inseriti in un circuito sintonizzato (preferibilmente quadro chiuso) così che il complesso riesca facilmente trasportabile.

La fig. 590 mostra appunto un misuratore di questo genere dove la grande spira metallica fa capo al termogalvanometro da un lato ed è sintonizzata superiormente a mezzo di un piccolo condensatore ([1]).

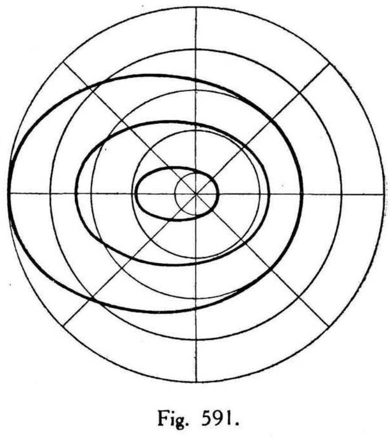


Fig. 591.

Per svolgere una serie di misure si gira attorno al radiatore eseguendo 10-15 letture per ogni giro. Il metodo più semplice per eseguire queste letture è quello dell'*indicazione costante*. Si varia cioè per ogni punto la distanza radiale fino ad ottenere la stessa indicazione del termogalvanometro.

Le letture si esprimono poi con un grafico dove tanti cerchi concentrici esprimono le distanze e dove le linee che congiungono le varie « letture » esprimono campi di equi-intensità (fig. 591). Non dispo-

([1]) Per cortesia del Burau of Standards U. S. A.

nendo dell'insieme galvanometro-pila si può usare con successo il raddrizzatore a cristallo in unione al milliampermetro.

Occorre però inserire quest'ultimo in modo che la sua resistenza non venga a pregiudicare le caratteristiche del circuito risonante.

È quindi consigliabile un circuito separato contenente il cristallo accoppiato in modo *ben costante* all'altro.

Coll'aumentare della distanza mezzi più sensibili di misura divengono necessari.

Usando un voltmetro elettronico in parallelo all'induttanza d'aereo si può misurare il potenziale che (al punto di risonanza) è determinato dall'oscillazione incidente fra A e B e quindi ottenere un dato qualitativo d'intensità (fig. 592).

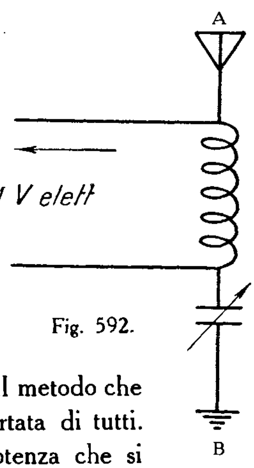


Fig. 592.

Questo forse è il sistema più sensibile per misure dirette e ad esso ci riferiremo anche nel caso di misure quantitative.

Per segnali più deboli (incapaci cioè di determinare almeno 1 volta fra A e B) è indispensabile ricorrere a un metodo di confronto.

Si generano cioè localmente oscillazioni di intensità nota e che si regola fino a dare al telefono segnali equivalenti a quelli in arrivo così da dedurre indirettamente l'intensità di questi. Il metodo che segue, escogitato da chi scrive, è certamente alla portata di tutti.

Si costruisce un oscillatore di *piccolissima* potenza che si racchiude al completo (lampada, batterie induttanze ecc.) in custodia metallica o in una cassetta di legno rivestita di lamiera.

L'accensione e il potenziale placca è fornito da accumulatori relativamente capaci i quali si mantengono costantemente carichi e la lampada è a consumo ridotto con accensione molto inferiore al normale. In queste condizioni, costruendo il circuito con parti perfette e rigidamente sistemate la potenza oscillante si mantiene costante a sufficienza nel tempo.

Praticato un foro in corrispondenza dell'induttanza oscillante si può procedere senz'altro alla misura. Sintonizzato cioè il ricevitore sul segnale desiderato si sintonizza su questo l'oscillatore quindi lo si allontana fino ad ottenere l'uguaglianza nelle due emissioni.

La distanza fra ricevitore ed oscillatore dà allora un dato relativo all'intensità dei segnali in arrivo. Finchè le esperienze si conducono sulla stessa frequenza, le varie distanze ottenute nelle varie prove sono perfettamente attendibili.

Quando tuttavia la frequenza deve essere variata è molto probabile che anche la potenza dell'oscillatore venga variata così da rendere incon-

frontabili le varie misure. È consigliabile in questo caso fare molto grande la capacità rispetto all' induttanza così che una piccolissima variazione di questa determini la necessaria variazione di frequenza.

Praticamente occorre regolare il foro nella cassetta dell' oscillatore così da dare un segnale debolissimo quando si raggiunge la massima distanza. Un sistema molto pratico è di lavorare all' estremità di un lungo tavolo sul quale possa scorrere la cassetta oscillatrice munita di rotelle gommate.

Il rapporto fra distanze ed intensità non è naturalmente lineare ma l' insieme può essere facilmente tarato secondo la scala pratica della udibilità (*R*) e fornisce quindi dati costanti e sicuri in qualunque momento.

Un altro misuratore, specialmente indicato come istrumento portatile, è quello della fig. 593 nel quale l' intensità del segnale in arrivo si deduce dalla riduzione di corrente da esso determinata nel circuito placca a cagione della carica negativa di griglia da esso prodotta. Praticamente si fa il condensatore *C* (griglia) molto ampio (2000-3000 μμf) affinchè presenti la minima reattanza alla f. e. m. alternativa impressa.

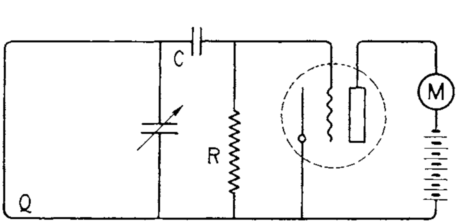


Fig. 593.

Ad ogni misura si regola l'accensione fino a portare il milliampermetro al centro della scala che è considerato come punto di partenza. L' intensità dei segnali è data poi dallo spostamento dell' indice verso lo zero.

Misura assoluta dei segnali e. m. — Per ottenere misure assolute o meglio *praticamente assolute* occorre tarare il misuratore.

Per far ciò è necessario un oscillatore capace di imprimere su questo una d. d. p. alternativa di valore noto e preciso.

Il metodo più semplice è quello dello *shunt* che è dimostrato dalla figura 594.

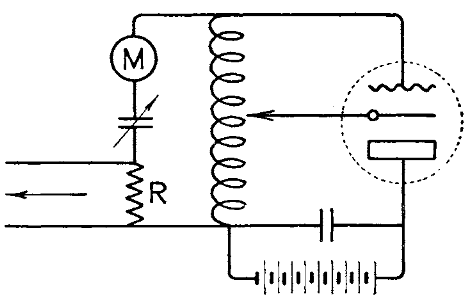


Fig. 594.

Si inserisce così sul circuito oscillante assieme al condensatore *C* e al milliampermetro *M* una resistenza *R*. Ai capi di questa si ottiene

allora come f. e. m. facilmente calcolabile dalla legge di Ohms non appena si conosca il valore della corrente.

Così supponendo che M indichi 2 milliamperes e che R sia uguale a 2 ohms il potenziale agli estremi di R è dato da $RI = 4$ millivolta.

A mezzo di adatta linea AF il potenziale di R può essere impresso sull' antenna.

Per eseguire questa operazione occorre schermare nel modo migliore tutto l' oscillatore e costruire la linea d'apporto con due fili attorcigliati fra loro. Si imprimono in questo modo sull' antenna varie f. e. m. note le quali danno dei segnali al ricevitore di differente intensità, intensità che permettono la regolare calibrazione del misuratore.

Riepilogando per una misura di questo genere occorre:

— Un ricevitore collegato ad un'antenna sintonizzabile sull' emissione desiderata.

— Un oscillatore capace di fornire alla stessa antenna f. e. m. note e precise.

— Un misuratore capace di paragonare l' intensità dei segnali locali e lontani forniti dal ricevitore. Tutti i sistemi di misuratori considerati nel caso di misure relative possono in questo modo facilmente tararsi.

Due sono tuttavia i sistemi che, almeno a parere di chi scrive, se pur realizzabili con semplici mezzi e senza difficoltà, permettono una precisione abbastanza buona:

Il primo è basato sul principio di *autosincronizzazione* ed è praticamente realizzato con un semplice circuito a reazione di potenza estremamente debole.

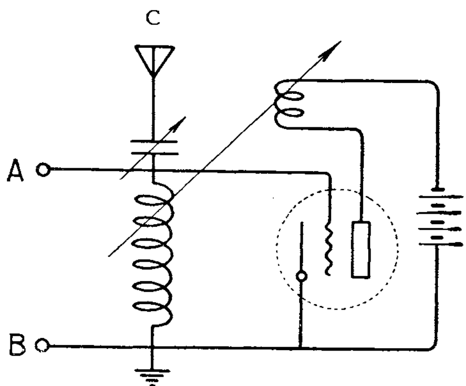


Fig. 595.

Un segnale in arrivo obbliga il circuito ad oscillare in sincronismo con tanta maggior facilità quanto più è intenso o in altre parole, quanto maggiore è l' intensità del segnale tanto maggiore può essere la differenza fra la frequenza di questo e la frequenza del circuito, senza che cessi il sincronismo. Praticamente si collega fra A e B (fig. 595) un voltmetro termoionico e si misura il valore V del potenziale in condizioni normali (assenza del segnale).

Variando C si nota un abbassamento di potenziale tanto più accentuato quanto più ci si avvicina alla frequenza in arrivo, abbassamento

che diviene brusco ad un certo punto, quando cioè questa frequenza differisce di una piccola quantità in più o in meno da quella di risonanza del circuito. Abbiamo già detto che il valore di questa « piccola quantità » è relativo all'intensità del segnale in arrivo: più precisamente chiamando F la frequenza di questo e nF la frequenza del circuito al momento del brusco abbassamento di potenziale abbiamo la relazione $\frac{nF}{F} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{E}{V}$ dalla quale $E = \frac{nF\sqrt{2}\,V}{F}$.

Questo sistema di misura assoluta è molto comodo poichè è basato esclusivamente su misure di potenziale e frequenza e quindi permette di usare circuiti di resistenza e capacità incognita senza danno.

La sensibilità del sistema dipende esclusivamente dalla sensibilità del voltmetro agli estremi di L, il quale praticamente non può dare indicazioni chiare ed attendibili molto al di sotto del volta. Non è quindi possibile la misura di segnali estremamente deboli.

Un altro sistema consiste nel paragonare fra loro anzichè segnali ad AF, correnti a BF che attraversano il telefono.

In altri termini inviando una corrente d'intensità *nota* attraverso il telefono, capace di determinare segnali equivalenti a quelli provenienti dal ricevitore, la grandezza di questa corrente ci dà un'indicazione relativa all'intensità dei segnali AF.

Più precisamente si è trovato che la corrente telefonica è direttamente proporzionale al quadrato della potenza antenna.

Come generatore a BF può servire in pratica tanto un diapason elettromagnetico che un audion la frequenza dei quali sia identica a quella ottenibile a mezzo dei battimenti al ricevitore: se tuttavia i segnali da misurare non sono puri (p. e. alimentazione rettificata non filtrata) si può semplificare il sistema usando la corrente alternata stradale direttamente o dopo raddrizzamento. In questo caso però la precisione ottenuta è grandemente diminuita.

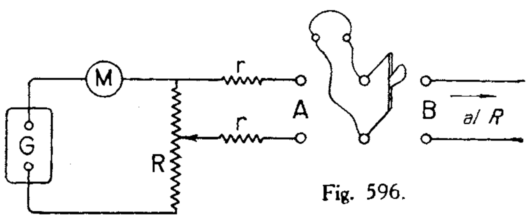


Fig. 596.

Il circuito del generatore BF è quello della fig. 596 dove G è il generatore stesso, M è un milliampermetro termico (0-20 ma) R è una resistenza variabile da 1 a 100 ohm ed r ed r, sono due resistenze molto elevate (100 mila ohms) necessarie a rendere indipendente il

circuito dalle eventuali variazioni nell'impendenza del telefono T. È utile shuntare i serrafili A con un tasto così da simulare una trasmissione telegrafica durante le misure.

Per eseguire la misura si aggiustano da prima le *note* dei due segnali (locale e in arrivo) quindi si varia il cursore su la resistenza R finchè l'intensità è presumibilmente uguale col commutatore in A o in B. L'intensità del segnale è allora proporzionale alla corrente che attraversa il telefono e quindi alla resistenza R.

Per *tarare* il generatore o in altri termini per misure assolute anzichè relative si adopera l'oscillatore a mezzo del quale si imprimono sull'areo f. e. m. note e determinate trovando poi i rispettivi valori della corrente BF che determinano al telefono segnali equivalenti.

Questi valori si deducono facilmente una volta conosciuta la corrente attraverso ad R, ed R stesso. In pratica facendo $I = 10\ Ma$ ed $R = 100$ ohms si ottiene una caduta di potenziale di 1 volta attraverso ad R.

Se i valori r ed $r_,$ sono tanto elevati da rendere trascurabile al confronto la impedenza del telefono la corrente attraverso a questo è data dalla $I_T = \frac{E}{r + r_,}$ dove E in volta è uguale ad un decimo della resistenza inserita in ohms.

Supponendo ora di imprimere sull'aereo una f. e. m. AF, E abbiamo la potenza aereo dalla $W = \frac{E^2}{R}$ dove R è la resistenza dell'aereo stesso.

Ora poichè la corrente telefonica I_T è proporzionale al quadrato della potenza aereo W esiste la relazione $\sqrt{W} = BI_T$ dove B è un coefficiente di proporzionalità determinato della sensibilità del ricevitore. Trovato B, $\left(B = \frac{\sqrt{W}}{I_T}\right)$ l'intensità del campo elettromagnetico viene semplicemente dedotta dal valore della corrente I_T, della resistenza R e dall'altezza di radiazione h a mezzo della $e = \frac{BI_T \sqrt{R}}{h}$ (1).

(1) *Esempio.* - Supponiamo di imprimere sull'antenna ($R = 200$ ohms, $h = 10\ m$) una f. e. m. di 4 millivolta (vedi esempio a pag. 583). La potenza antenna è data da $\frac{E^2}{R}$ cioè da $\frac{0,000016}{200}$ watts.

Se l'equilibrio fra questo segnale e quello locale si trova a 50 ohms la corrente I_T attraverso il telefono (supponendo $r + r_, = 200.000$ ohms) è data da $\frac{0.5}{200.000} = 25.10^{-7}$ amperes.

Altezza efficace d'aereo. — Se la distribuzione di corrente AF fosse costante su tutta la lunghezza d'aereo l'altezza efficace di questo sarebbe la sua altezza reale.

Data però la differente distribuzione nei vari punti l'*altezza efficace* d'aereo è minore di quella reale. Nel caso di onde lunghe quando cioè la lunghezza d'onda irradiata è molto maggiore della altezza d'antenna l'altezza efficace varia fra $^1/_2$ e $^2/_3$ dell'altezza reale. Nel caso di onde corte invece quando la lunghezza d'onda è inferiore all'altezza d'aereo l'altezza efficace è sensibilmente uguale all'altezza reale.

In ogni caso però usando onde inferiori ai cento metri, quando cioè le altezze reali degli aerei sono estremamente ridotte, il termine altezza efficace d'aereo ha una importanza molto relativa nel calcolo, tanto da potere essere trascurato o considerato equivalente all'altezza reale (¹).

La costante B è allora data da

$$\frac{\sqrt{8\,10^{-8}}}{25.10^{-7}} = \frac{8\,10^{-4}}{25.10^{-7}} = \frac{25^{-3}}{8} = 320.$$

L'intensità del campo elettromagnetico è allora data dalla

$$e = \frac{BI_T\sqrt{R}}{h} = \frac{320\;25.10^{-7} - \sqrt{200}}{10} = 0.0011 \text{ volta } m.$$

(¹) Un metodo semplice per trovare l'altezza efficace consiste nel misurare la corrente d'aereo nei vari punti riportando su due assi le rispettive altezze ed intensità. La quantità desiderata è determinata dall'*altezza media* della curva risultante.

Ciò tuttavia finchè si opera nei pressi della fondamentale.

CAPITOLO III.

ESPERIENZE

Generalità delle esperienze. — Molteplici sono le esperienze che possono condursi a mezzo di onde corte e la parte precedente, pur forzatamente ridotta, non può che attestarlo.

Tuttavia ciò che si presenta al giorno d'oggi come meno conosciuto è più interessante all' indagine di molte persone è il campo della *propagazione.*

L' avvenire delle onde corte è legato ad una intima conoscenza della loro trasmissione a distanza all' intorno della terra, conoscenza che estesa alle onde radio elettriche in genere, rappresenterà senza dubbio una delle più importanti conquiste della Fisica.

Noi beneficiamo oggi di un potentissimo mezzo di comunicazione, sfruttandolo in modo pressochè empirico; esso non obbedisce quindi all' impero della nostra volontà ma ci dimostra quotidianamente con inspiegabili variazioni e coi più strani comportamenti, quanto è limitata la nostra conoscenza.

Questo libro, come si disse al principio, vorrebbe essere iniziatore di un sistematico studio che scaturisse dalla spontanea collaborazione di molti appassionati e studiosi: ad essi è specialmente dedicato l' ultimo capitolo con l' augurio che dal loro proficuo lavoro possano le brevi pagine che seguono, trasformarsi in breve dal monotono elenco sperimentale ad un chiaro insieme di dati nuovi e di risultati.

Esperienze di propagazione in genere. — Chiunque riceva o trasmetta onde radio elettriche, in qualunque momento e con qualunque potenza conduce una esperienza di propagazione che può essere di non indifferente utilità se giudiziosamente coordinata ad altre esperienze. Lo esperimentare non è quindi, e non deve anzi essere, privilegio di pochi ben attrezzati laboratori, ma deve e può essere caratteristica principale o secondaria di chiunque si interessi al progresso radiotecnico in genere.

È senza dubbio molto più utile una serie di dati di ricezione ottenuti con un raddrizzatore a cristallo a pochi chilometri dal radiatore

durante un sistematico periodo di prove, che un insieme di dati ottenuti saltuariamente dalle massime distanze terrestri.

Mai nella storia della Scienza si è presentata la necessità di una attiva collaborazione fra migliaia e migliaia di persone sparse in ogni punto della terra, come in questo caso. Ed è naturale quindi, che non possa pretendersi che la totalità o buona parte di queste persone, sia specializzata nel campo radiotecnico.

L' indole delle esperienze deve essere varia per permettere a tutti di svolgerle con profitto, qualunque siano i mezzi esperimentali a disposizione.

Qualunque sia l' indole dell' esperienza su la propagazione questa deve essere relativa a tre indispensabili fattori:

— Tempo.

— Lunghezza d' onda.

— Modo d' operazione dell' antenna.

Così che la classifica generale delle esperienze può partire da questi. Le esperienze nel *tempo* possono essere brevi, lunghe e lunghissime. Le prime hanno un interesse puramente locale (qualche decina di chilometri all' intorno del radiatore) interesse tanto minore quanto minore è la lunghezza d' onda. Esse servono principalmente a studiare il comportamento dei radiatori quando cioè per ogni posizione all' intorno di questi basta un' unica misura per ottenere un dato soddisfacente. Esperienze brevi (durante cioè un periodo di qualche giorno e al massimo di qualche settimana) possono riuscire molto utili quando esse comportano osservazioni frequenti nelle varie ore del giorno e della notte. Ed esse si debbono i maggiori dati sulle particolarità di polarizzazione a piccola distanza dal radiatore, come si vedrà più avanti. Quando la distanza è grande le esperienze brevi non possono generalmente fornire dati attendibili e sicuri. Esse possono tuttavia dare una idea generale ed approssimata delle vie seguite dalle vibrazioni e. m. nelle varie ore del giorno. Saltuarie e sia pure perfette ricezioni o trasmissioni a grandi distanze non hanno alcun interesse se si esclude il caso particolare di una comunicazione in una gamma d' onda ancora inesplorata.

Le esperienze di durata media (vari mesi) sono senza dubbio molto più utili e si prestano a fornire attendibili risultati su qualunque distanza. Quando esse si svolgono durante un solo periodo del giorno è bene curare che questo periodo sia sempre lo stesso. Sarebbe tuttavia ideale una serie di durata media con numerose osservazioni giornaliere.

Le esperienze di lunga durata (vari anni) possono essere la sintesi di un gran numero di esperienze di media durata ed hanno speciale

interesse specialmente nella determinazione di eventuali influenze cosmiche su la propagazione. Data quindi l' indole molto approssimativa della misura e la necessità di un gran numero di dati provenienti da vari osservatori, queste esperienze non possono essere condotte singolarmente per tutta la loro durata, se si esclude il fortunato e ideale caso di un grande numero di persone decise a perseverare per un così lungo tempo nel loro metodico lavoro. Una serie di esperienze condotte per vari anni da un unico osservatore non ha quindi quell' utilità che la non indifferente fatica potrebbe fare immaginare.

Riepilogando, nello svolgimento di esperienze sulla propagazione i più interessanti risultati col minore sforzo si otterranno con esperienze di media durata. Il caso ideale di esperienze lunghe potrà essere considerato soltanto quando numerosi osservatori vi si dedicano, mentre le esperienze di breve durata daranno utili indicazioni estendendo l' osservazione alle varie ore del giorno.

La lunghezza d' onda, altro fattore di classifica, può pure variamente dividere i compiti degli esperimentatori. È indiscutibile che l' esperienza risulta tanto più facilitata quanto minore è la lunghezza d' onda, per la grande semplificazione d' impianto che così ne deriva. Tuttavia occorre pensare che alcuni dei caratteristici compoıtamenti delle onde corte sono già ben evidenti su lunghezze di 600-700 metri e che appunto nella gamma dai 300 ai 600 metri esistono milioni di ascoltatori, molti dei quali potrebbero spontaneamente fornire dati di grande utilità. Poichè in questo caso è impossibile pretendere che impianti, a principale scopo di diletto si attrezzino alle modifiche e alle prove che lo svolgimento di esperienze richiederebbe, è indispensabile che queste modifiche e queste prove abbiano luogo al trasmettitore e che i vari posti di ricezione, mantengano fisse le loro caratteristiche fornendo dei dati nel tempo. In questo caso occorre naturalmente un potente trasmettitore esperimentale (possibilmente telefonico) al quale naturalmente facciano capo, centralizzandosi, le osservazioni dei numerosi ricevitori. Questa necessità rende la cosa impossibile o almeno molto difficile al privato così che l' osservazione di questa gamma potrà essere soltanto intrapresa per interessamento di qualche Ente importante o con l' aiuto dei diffonditori telefonici.

Il particolare comportamento della gamma dai 150 ai 250 metri, pressochè abbandonata ora con l' avvento delle onde corte, richiederebbe invece l' interessamento degli esperimentatori.

È in questa gamma infatti che gli effetti della evanescenza sono maggiormente sentiti e che i più saltuari e strani effetti vengano a verificarsi. Ora, se pure l' indagine nelle gamme di « grande rendimento » si pre-

senta di grande interesse, non meno importante appare quella della gamma di « peggiore rendimento » che appunto per questa sua caratteristica ha ricevuto finora ben poche attenzioni.

Dai 60 ai 120 metri esiste la gamma di onde corte adatte per comunicazioni notturne, gamma che dai dati finora ottenuti non presenta nè zona di silenzio nè pronunciati effetti di evanescenza.

Lo studio in questo campo oggi molto limitato coll'affermazione vittoriosa di onde più corte, sarebbe invece molto utile se intrapreso da un grande numero di osservatori. Al di sotto dei 50 metri abbiamo la gamma eminentemente diurna che presenta molto accentuato il fenomeno della distanza saltata e spesso notevoli effetti d'evanescenza. La principale necessità esperimentale di questa gamma è la conoscenza precisa della ampiezza della zona di silenzio in relazione alla lunghezza d'onda e al tempo. Ampiezza sulla quale esistono oggi dati molto incerti e limitati a *poche* stazioni di grande potenza.

Ambedue le gamme, ma specialmente la seconda, permettono di condurre l'esperienza fino alle massime distanze terrestri senza richiedere istrumenti più che normali. Esse possono riuscire utilissime a determinare le caratteristiche della propagazione a distanza nelle varie direzioni terrestri e nel tempo.

Al di sotto dei 10 metri di lunghezza d'onda l'esperienza odierna resta molto limitata e i risultati ottenuti incerti in ogni caso, non sono attendibili con sicurezza. Le esperienze condotte finora hanno trascurato la vastissima gamma compresa fra 10 e 5 metri e si sono basate esclusivamente su quest'ultima lunghezza. È evidente ora la necessità di una indagine più completa condotta con criterio e sicurezza e specialmente, almeno all'inizio, con grande potenza. D'altra parte l'esperienza in questa gamma così vasta richiede la conoscenza esatta delle frequenze in uso e quindi l'uso di ondametri tarati in un unico centro capaci quindi di fornire indicazioni esattamente uguali.

La gamma delle onde ultra corte ($<$ 2 m.) non è nota che per distanze immediatamente vicine al radiatore.

Dal poco che oggi si conosce sembra tuttavia che il comportamento di onde così corte è molto simile a quello delle onde luminose (propagazione praticamente rettilinea).

La classifica delle esperienze mediante lunghezze d'onda diverse può allora riepilogarsi in questo modo:

— Esperienze su 300-600 metri eseguite variando le caratteristiche di un potente radiatore mediante la collaborazione degli uditori di radio telefonia.

— Esperienze su 150-200 metri mediante posti di ricezione e trasmissione a piccola potenza e su medie distanze.

— Esperienze al di sotto dei 120 metri mediante posti analoghi condotte di giorno e di notte, a breve, media e grande distanza.

— Esperienze al di sotto dei 15 metri condotte con ricevitori ben stabili, *con sicura conoscenza dell'onda irradiata* e con *potenti* trasmettitori a medie e grandi distanze.

Il modo di operazione dell'antenna, ultimo fattore di classifica, non è meno importante degli altri.

Le esperienze finora condotte, dimostrano concordi l'influenza più o meno sentita che esercita sulle caratteristiche di propagazione il modo d'operazione dell'antenna.

Così nelle prove su varie lunghezze d'onda, per mantenere costanti le condizioni d'esperienza, occorrerà variare la lunghezza del conduttore antenna anzichè le caratteristiche del circuito locale aggiunto allo scopo di variare l'onda irradiata.

E, inversamente, provando vari sistemi d'antenna occorrerà mantenere invariata la lunghezza d'onda.

La difficoltà maggiore in questo caso sta nella necessaria simultaneità delle varie prove per evitare il più possibile la nociva influenza di variazioni estranee. Ciò può essere ottenuto molto più facilmente che dal singolo esperimentatore da un gruppo di questi coll'uso di varie stazioni molto vicine e di caratteristiche molto simili.

In definitiva la classifica delle esperienze mediante varî modi d'operazione dell'antenna può così riepilogarsi:

— Esperienze a λ variabile con caratteristiche d'antenna costanti.

— Esperienze a λ costante con caratteristiche d'antenna variabili.

— Esperienze a segnali costanti mediante ambedue le variazioni relative alle varie ore del giorno.

In tutti questi casi l'utilità delle esperienze dipende essenzialmente dal numero degli osservatori.

Non è a credersi che la vicinanza anche immediata di due osservatori nuoccia all'originalità del loro lavoro. Ciò anzi è una indispensabile necessità poichè si sono notate in pratica delle grandi differenze fra posti non più distanti di qualche lunghezza d'onda. Le condizioni d'esperienza sono allora tanto più propizie quanto maggiore è il numero degli osservatori sparsi in ogni punto e per ogni punto il più possibile numerori.

Esperienze di ricezione. — È naturale che la maggioranza di questi volontari esperimentatori non potrà almeno all'inizio disporre di

un completo trasmettitore. Ma non per questo l'importanza delle loro ricerche riescirà menomata: il posto ricevitore con caratteristiche ben costanti ed operato con sicuro affidamento, ha un valore molto più grande del posto trasmettitore qualunque esso sia; e se è ben vero che la possibilità di intercomunicazione fra i vari osservatori è spesso utilissima, è altrettanto vero che ciò possa avverarsi in un secondo tempo, quando i numerosi « ricevitori », già assuefatti ed esperimentati al campo delle onde corte, sentiranno il bisogno di montare il proprio trasmettitore.

Il ricevitore più adatto per esperienze con onde corte è il comune raddrizzatore a reazione seguito da uno o due stadi di bassa frequenza (v. parte 2ª, cap. 6°).

È indispensabile mantenere costanti le sue caratteristiche usando le stesse lampade e gli stessi valori d'accensione e di tensione placca. Occorre inoltre evitare l'influenza degli agenti atmosferici sulla sensibilità del ricevitore stesso usando componenti ben stabili.

Con un ricevitore di questo genere è possibile farsi un'idea dell'andamento dell'intensità di ricezione nel tempo con una approssimazione sufficiente per gli usi pratici, fino alle onde più corte.

Sistemato in modo definitivo l'apparecchio si può iniziare il ciclo d'esperienze prefissato, annotando regolarmente i risultati ottenuti.

Affinchè questi siano il più possibile attendibili, occorre basarsi, nelle misure prolungate nel tempo, su emissioni determinate, la potenza delle quali sia nota o notoriamente costante.

È preferibile riferirsi a poche e prefissate stazioni piuttosto che ad un grande numero di queste prese a caso e senza metodo.

Così, esperimentando su 300-600 metri ci si riferirà a tre-quattro diffusori (*preferibilmente deboli*) che si riceveranno alla stessa ora e regolarmente, per un lungo periodo di tempo, annotando giornalmente le rispettive intensità e centralizzando i risultati, come vedremo in seguito.

Con onde inferiori ai 100 metri è sempre possibile ricevere segnali intensi, e ciò trae spesso in inganno sulle condizioni di ricezione. Infatti, per quel poco che oggi si sa, accade spesso che due identici trasmettitori posti a distanza relativamente piccola, vengano ricevuti con intensità molto diverse, così che non è possibile farsi un concetto delle particolarità di ricezione da una data regione della terra, ricevendo a caso alcune stazioni da questa regione.

Un esempio tipico è dato dalla ricezione dal continente americano: esistono in esso tante stazioni esperimentali che è sempre possibile, salvo rare eccezioni, riceverne con buona intensità un numero notevole. Ora

i dati che possono ottenersi annotando giornalmente l'intensità di ricezione di queste stazioni (*sempre variate*), se pure hanno un certo interesse, non sono affatto paragonabili ai dati che si otterrebbero ricevendo giornalmente soltanto tre o quattro stazioni a potenza costante e ben localizzate. Ideale sarebbe che queste stazioni, disseminate nella regione esperimentata, fossero molto numerose per rivelare effetti locali nella trasmissione: in ogni caso però ne esistono oggi in numero sufficiente a fornire buone basi d'appoggio.

Una volta prescelti i trasmettitori da osservare è indispensabile l'accordo fra i vari posti esperimentali affinchè tutte le osservazioni siano principalmente concentrate su questi.

Ciò si otterrà con un'organizzazione centrale la quale potrà restare in comunicazione a mezzo radio, di giornali o di corrispondenza coi vari centri esperimentali.

Soltanto in questo modo potranno ottenersi in brevissimo tempo dei risultati effettivi.

La ricezione *saltuaria e disorganizzata* da grandi distanze non ha importanza nello studio dei fenomeni di propagazione, come più volte si è accennato. Esiste tuttavia un metodo molto empirico di misura cui ci siamo riferiti. Esso consiste cioè nel ricevere giornalmente il maggior numero di stazioni emittenti da ogni parte e con ogni intensità annotando quindi le distanze, le direzioni e la *media delle intensità*, senza considerare la potenza (1). I risultati così ottenuti danno una indicazione d'insieme sull'andamento generale di ricezione dalle varie direzioni e nelle varie epoche o periodi del tempo.

Queste indagini di ricezione possono svolgersi soltanto nella gamma di onde corte praticamente ed industrialmente sfruttata ai nostri giorni, compresa cioè fra i 15 e 600 metri. Nella gamma inferiore l'esperienza è ancora allo stadio di ricerca e per l'insufficienza di trasmettitori non può essere condotta con metodo. In attesa che il numero di questi trasmettitori aumenti è oggi indispensabile un'intesa singola fra trasmettitore e ricevitore e possibilmente uno *scambio di ondametri.* Al di sotto dei 10 metri d'onda una ricezione di segnali eventualmente deboli in una gamma di 10-20 centimetri è già oltremodo laboriosa e difficile.

(1) Queste misure si intendono relative a stazioni di potenza ridotta (100-150 watts) usate generalmente nelle comunicazioni private. Occorre però tenere in considerazione il fatto che il numero di stazioni operate è variabilissimo nei varì giorni della settimana, appunto per il carattere *privato* dei posti stessi. Per evitare questa probabilità di errore è consigliabile basare le misure principalmente sui giorni festivi o di fine settimana, quando cioè i singoli esperimentatori sono liberi dalle loro occupazioni abituali. Un' organizzazione speciale dei vari trasmettitori è d'altra parte contemplata più avanti.

L'eventuale successo non si otterrà che con la conoscenza perfetta della frequenza irradiata: all'uopo chi scrive ha adottato un sistema molto semplice che si presta ad essere usato qualunque sia la distanza fra trasmettitore e ricevitore.

Si costruisce cioè con filo di rame di qualche decimo di millimetro un circuito oscillante piatto che si fissa stabilmente ad un grosso cartone. Questo, circuito, in esatta risonanza coll'onda irradiata viene quindi spedito *per posta* al ricevitore il quale può con la massima facilità, avvicinando il circuito stesso al suo istrumento ritrovare il punto esatto. Praticamente può usarsi un filo di 5 decimi di millimetro ed un cartone di 3 millimetri. Si fora il cartone in qualche punto equidistante lungo le diagonali e si costruisce l'induttanza come è indicato nella fig. 597 si regola la lunghezza del filo fino ad ottenere la risonanza esatta, quindi si fissano le spire in vari punti con strati trasversali di vernice di celluloide.

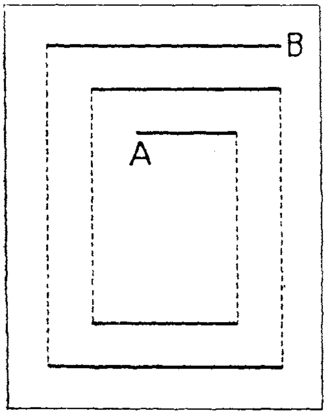


Fig. 597.

Con la stessa si fissano gli estremi *A* e *B* regolando la lunghezza dei quali si possono ottenere le più piccole variazioni. Ad induttanza ultimata si rimette eventualmente in accordo il trasmettitore fissando la λ così ottenuta sull'ondametro locale per poterla mantenere costante durante tutta la serie di esperienze.

Il cartone indicatore può essere allora spedito come semplice « stampa raccomandata » al posto di ricezione il quale aumenterà col suo aiuto del cento per cento le probabilità di ricezione. Su un cartone del formato « protocollo » con un avvolgimento da 1 a 3 spire si può facilmente coprire tutta la gamma fra 4 e 10 metri.

Ricezione pratica al disotto dei 10 metri. — Le principali difficoltà da superare per rendere pratica la ricezione di onde di frequenza così elevata (sia o no stabilita la possibilità del loro uso per comunicazioni a grande distanze) sono:

— Eliminazione dei rumori propri del ricevitore (scapanio delle valvole, rumore di fondo dovuto alla reazione, auto-oscillazione a b. f. ecc.).

— Eliminazione dell'influenza dell'operatore.

— Rigidità assoluta di tutti i collegamenti per evitare variazioni di frequenza.

Affinchè le valvole riescano silenziose si è praticamente trovato utile montarle su un sostegno di *spugna di gomma.* Occorre però che le connessioni che raggiungono la valvola siano molto flessibili affinchè questa risulti effettivamente isolata dalle eventuali vibrazioni meccaniche che potrebbero raggiungerla. Il rumore dovuto alla reazione è sempre notevole: tuttavia esso può ridursi al minimo usando una estrema perfezione nei contatti ed un isolamento scrupoloso. La natura della resistenza di griglia e della lampada stessa è d'altra parte molto importante a questo riguardo.

L'auto oscillazione a *BF* si evita allontanando dal raddrizzatore il complesso amplificatore dopo avere posto agli estremi del circuito *BF*, con le connessioni più corte, capacità sufficienti per permettere il libero passaggio della componente *AF*. Per una stabilità ancora maggiore si possono shuntare con vantaggio i secondari e i primari dei trasformatori *BF*.

L'influenza dell'operatore si può evitare sia proteggendo in custodia metallica il ricevitore sia eseguendo il comando a distanza.

Il primo caso è più indipendente del secondo il quale è tuttavia suscettibile di una maggiore sensibilità. Se si mettono gli schermi a terra occorre badare che il conduttore d'unione sia cortissimo e rigidamente fissato affinchè possa essere efficace. D'altra parte però nella ricezione in località prossime a condutture elettriche la messa a terra determina al telefono un rumore *BF* spesso molto intenso.

In questi casi è preferibile non usare contatto col suolo.

L'accoppiamento con l'antenna deve essere rigido il più possibile e sufficientemente lasco.

Avvicinando una corta antenna risonante ad un ricevitore sintonizzato su 4-6 metri l'influenza è già sentita alla distanza di qualche metro.

Avvicinando un rigido conduttore rettilineo a 20-30 centimetri dall'induttanza l'accoppiamento è più che sufficiente.

La necessaria rigidità delle varie parti è forse la difficoltà più difficile da superare. Occorre ridurre il circuito ad essere praticamente rappresentato dalla sola induttanza sistemando le varie parti in modo da poterle collegare fra loro con l'aiuto di pochi centimetri di grosso filo.

L'induttanza, (spesso una sola spira), deve essere rigida in modo estremo. Basta infatti la vibrazione infinitesima che potrebbe raggiungerla attraverso i sostegni (dovuta ad esempio ad un impercettibile vibrazione del fabbricato) per determinare una notevole vibrazione della nota.

È consigliabile in ogni caso costruirla in tubo di rame *molto bene ricotto* affinchè possieda la minima elasticità.

L'insieme deve essere compatto e le connessioni, in filo grosso e ricotto anche nelle parti del circuito che non richiedono grandi sezioni di conduttore (circuito placca ad es).

Infine un ricevitore per onde cortissime riceve la migliore delle sistemazioni quando viene rigidamente fissato ad un blocco di cemento fondato direttamente sul suolo.

Riepilogando il successo nella gamma dei 3-8 metri se ottenibile, si raggiungerà senza eccessive difficoltà, osservando le precauzioni che seguono:

— Accordo perfetto mediante scambio d'ondametri fra gli sperimentatori.

— Gamma d'esperienza non superiore ai 10 centimetri.

— Rigidità assoluta del ricevitore.

Queste precauzioni appariranno certamente esagerate se in un fortunato futuro, la gamma delle onde ultra corte entrerà nella pratica applicazione. Ma esse rappresentano al giorno d'oggi il minimo logico dal quale si possa aspettare qualche risultato positivo.

Esperienze sull'evanescenza. — La gamma più adatta per condurre esaurienti esperienze sul fenomeno dell'evanescenza è quella compresa fra 150 e 600 metri quindi esistono innumerevoli persone capaci di interessarsene.

Per ottenere indicazioni utili e positive è indispensabile la cooperazione di moltissimi osservatori. Qualche centinaio di persone disseminate in una grande città e ben disciplinate rappresentano un gruppo ideale di esperimentatori.

La principale necessità in questo caso è quella di stabilire il sincronismo fra tutte le osservazioni, sincronismo che per il successo delle esperienze non può avere una tolleranza maggiore di qualche secondo.

Un metodo semplice è quello di ottenere otticamente il sincronismo stesso: in un posto centrale situato in posizione dominante si sistema una lampada che si accende per brevi istanti a regolari intervalli. I vari posti d'osservazione (situati tutti in vista della lampada stessa) annotano l'intensità di ricezione ad ogni segnale luminoso così che la registrazione risulta simultanea. Praticamente è conveniente un'accensione ogni 3-4 secondi ed un segnale prolungato per distinguere la fine di ogni minuto. I risultati debbono essere centralizzati per confrontarli fra loro. Ogni modulo d'osservazione acquista la forma della fig. 598 dove ogni numero rappresenta l'intensità di ricezione (secondo la scala *R* v. appendice) ad ogni accensione della lampada, ed ogni numero iscritto nel cerchio

l'intensità alla fine del minuto. Stabilendo un inizio simultaneo delle osservazioni il sincronismo è sufficiente a buone determinazioni.

Un metodo analogo ma più comodo consiste nel sistemare un trasmettitore ad onda modulata sintonizzato esattamente sulla emissione in esame:

Si regola la potenza finchè l'intensità di ricezione non è eccessiva quindi si mandano dei brevissimi impulsi ad intervalli di 4-5 secondi ed impulsi prolungati ad intervalli di un minuto procedendo come nel caso precedente.

Ambedue i metodi sono molto semplici e realizzabili senza difficoltà.

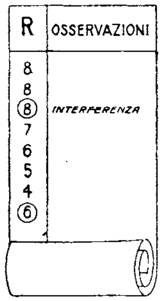


Fig 598.

Chi volesse evitare la noia e l'attenzione che richiede l'iscrizione istantanea della intensità di ricezione non appena perviene il segnale di sincronismo può costruirsi il semplice apparecchio semi-automatico che segue:

Esso consta di un movimento d'orologeria che pone in movimento lento ed uniforme una lunga striscia di carta *S* (fig. 599).

A mezzo della leva *L* munita all'estremità di uno stilo scrivente (matita p. es.) si seguono sulla scala *R* le variazioni di intensità, variazioni che vengono iscritte sulla carta sotto forma di grafico ben netto.

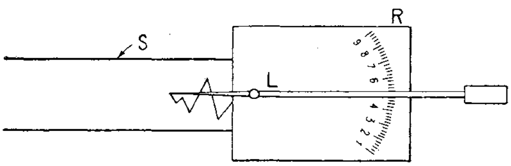


Fig. 599.

Per stabilire il sincronismo occorre un secondo stilo scrivente il quale mosso da una elettrocalamita indipendente segna sulla carta gli intervalli. Il movimento di questo secondo stilo può essere tanto automatico (determinato cioè da un pendolo locale o da un registratore dei segnali *RT*) quanto volontariamente eseguito dall'operatore che chiude un contatto ogni qual volta sente o vede il segnale sincronizzatore.

L'apparecchio che può essere costruito da chiunque, si presta a fornire degli utilissimi grafici, molto precisi dopo una certa pratica degli osservatori, per la facilità con la quale, quasi istintivamente, vengono seguite con lo stilo le variazioni dei segnali.

Disturbi BF alla ricezione. — Nella ricezione di onde inferiori ai 300 metri si notano spesso dei disturbi di notevole intensità i quali non sono dovuti nè ad interferenze nè a parassiti atmosferici. Questi disturbi

si possono classificare come *industriali* ed è ad essi che si deve spesso in buona parte il « rumore di fondo » dei ricevitori. Questo rumore, di frequenza così bassa da essere spesso confuso all'orecchio, raggiunge qualche volta un'intensità tale da modificare completamente la misura comparativa di ricezione, rendendo pressochè inutili i dati raccolti.

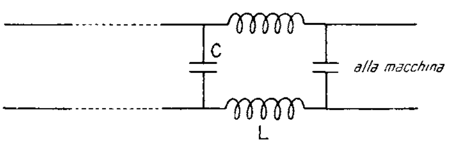
Occorre quindi tenere presente, confrontando risultati ottenuti in città e in campagna, questa eventuale differenza nelle condizioni d'esperimento.

Spesso però l'interferenza industriale raggiunge una intensità sufficiente ad impedire qualunque ricezione.

Convertitori a mercurio, produttori di raggi ultra violetti o X, impianti di precipitazione elettrostatica, dinamo, raddrizzatori vibranti o sincroni sono capaci di esercitare *serie* interferenze perfino a decine di chilometri di distanza. Ci si accorge ben presto della sorgente di questi rumori dai caratteristici loro periodi di lavoro e dalla nota particolare ricevuta.

L'unico rimedio, capace se non di eliminare almeno di diminuire questa interferenza, è quello di un accordo col disturbatore per ottenere il permesso di inserire nelle immediate vicinanze dell'istrumento e sulla linea che lo alimenta delle adatte induttanze e condensatori.

Si usa cioè sulla linea alimentatrice un vero filtro ad alta frequenza (fig. 600) badando che la sezione delle induttanze sia sufficiente per la corrente industriale che le attraversa e che i condensatori siano isolati a tensioni almeno doppie di quelle di lavoro.



Fig, 600.

Nella maggioranza dei casi bastano induttanze di 100-150 spire e condensatori di 0,5-1 microfarad.

Non è raro d'altra parte il caso di un rumore di intensità varia e notevole che si prolunga indefinitamente impedendo qualsiasi ricezione. Caratteristica principale di questo è « l'accordo » che esso presenta in punti numerosissimi e ben definiti. In altre parole variando la sintonia si passa rapidamente da punti ove l'interferenza è trascurabile a punti dove essa è estremamente intensa.

Questo rumore trae origine nella maggioranza dai casi da un scintillamento continuo, spesso inaprezzabile, che si verifica su una linea elettrica industriale anche a grande distanza dal ricevitore. Si verifica da prima che il rumore non sia locale (si toglie la corrente all'impianto domestico ed eventualmente a quello dei vicini).

Cause d'interferenza possono in questo caso essere dovute: al cattivo contatto di una lampada, di una stufa, ferro elettrico ecc.; a venti-

latori, pulitori, aspiratori ecc. o infine a un caricatore d'accumulatori domestico nelle vicinanze. In tutti questi casi si riesce bene a definire la sorgente ascoltando metodicamente ed annotando i periodi di interferenza.

Quando si è sicuri che la sorgente non è nelle immediate vicinanze del ricevitore e quando l'ascolto prolungato non mostra alcuna variazione il rumore è quasi certamente dovuto a scintillamento sulla linea ad alta tensione (1000-3000) che alimenta i trasformatori della città.

Questo scintillamento che può essere dovuto ad un contatto imperfetto in qualche punto è generalmente determinato da un irregolare « contatto a terra » attraverso il quale passa continuamente una esigua quantità di corrente nella forma di scarica. Un isolatore imperfetto è molto spesso la causa di interferenze nel raggio di vari chilometri: per ricercarlo serve alle volte l'ascolto sistematico in relazione a cambiamenti del tempo. Così spesso si nota un aumento di intensità al sopraggiungere del tempo umido, un annullamento completo poco dopo l'inizio della pioggia e appaiono evidenti variazioni d'intensità in relazione alle variazioni atmosferiche.

Analizzata in questo modo l'interferenza si può procedere alla localizzazione della sorgente operazione questa che risulta molte volte laboriosissima. Una prima selezione si può avere osservando l'andamento del disturbo in relazione alle interruzioni di corrente. Le Società Elettriche usano spesso toglierla settimanalmente se non a tutta la città almeno ad un settore di questa. È possibile allora informandosi presso la locale Società Elettrica dei settori senza corrente, di avere non appena il rumore viene a mancare, una prima approssimazione.

Si ricerca allora la sorgente vera e propria a mezzo di un ricevitore trasportabile (raddrizzatore seguito da 2 stadi *BF*). Questo ricevitore deve essere completamente schermato, possedere un piccolo quadro per captare i segnali disturbatori, e avere una sensibilità regolabile (telefono shuntato o accensione variabile p. e.).

Per accelerare la noiosa ricerca si può montare il tutto su automobile ed eseguire rapidi giri circolari avvicinandosi al punto cercato. Procedendo da se è consigliabile sistemare il ricevitore a tracolla collegando a questo un conduttore protetto da schermo metallico e terminante ad una piccola induttanza. Con un lungo bastone si avvicinerà l'induttanza ai conduttori in esame procedendo fino ad ottenere la massima intensità di ricezione. Occorre *badare che tanto l'induttanza che l'ultima porzione dello schermo siano bene isolati* per evitare disgrazie dovute a contatti accidentali. Avvicinandosi al contatto nocivo occorre diminuire sempre più la sensibilità del ricevitore.

Localizzato quest'ultimo si avvertirà la Società Elettrica affinchè proceda alla riparazione.

Esperienze di trasmissione. — Nella gamma dai 15 ai 100 metri la potenza alimentazione più adatta per condurre effettive esperienze di propagazione a grande distanza è quella di 150-200 watts.

Per lo studio dei fenomeni a distanza piccola e media è spesso migliore una potenza molto più piccola rigorosamente mantenuta costante mentre per lo studio delle particolarità delle onde diurne ($>$ 40 metri) è indispensabile la collaborazione di tutti i trasmettitori per quanto esigua o per quanto grande sia la loro potenza.

I singoli apparecchi costruiti con la massima cura e portati al migliore rendimento, *non dovranno più essere modificati durante tutta la serie di esperienze.*

Soltanto in questo caso i dati ottenuti saranno attendibili e sicuri.

Occorrerà inoltre una organizzazione dei trasmettitori affinchè questi procedano positivamente nella loro esperienza ottenendo i massimi risultati nel più breve tempo e nel miglior modo e di ciò ci occuperemo più avanti.

Vari sono i modi praticamente utili per eseguire esperienze di trasmissione.

Il metodo della « *chiamata generale* » (vedi appendice) se pur utile per avere un immediato contattto con un grande numero di trasmettitori spesso a grandissima distanza, non fornisce che dati molto approssimativi. Infatti nella maggioranza dei casi le stazioni che rispondono ad una chiamata generale sono in condizioni (locali) molto differenti e i dati da esse forniti non sono affatto comparativi.

Inoltre il maggior numero di queste stazioni che rispondono si trova in quel dato momento in condizionì molto più favorevoli di molte altre che non hanno affatto udito la chiamata o che uditala non riescono a farsi sentire dai noi. In altre parole il rapporto di ricezione che è possibile ricevere da pochi corrispondenti dopo una chiamata generale non è attendibile; nè da questo è possibile arguire il modo di propagazione verso la regione dei corrispondenti stessi poichè questi ultimi si trovano in posizioni e condizioni particolari.

Per ovviare a questo difetto non c'è che un sistema, molto semplice in vero: eseguire un grandissimo numero di chiamate generali per ottenere la maggiore quantità di dati possibile. Dalla media di questi scaturisce senza dubbio un dato molto approssimato.

È però esperimentalmente provato che in prove a grande distanza

per ottenere qualche decina di rapporti occorrono *varie ore di lavoro* con notevole dispendio di energia e fatica. Chi scrive ha escogitato una semplice soluzione del problema; soluzione che è stata proposta per un riconoscimento internazionale.

Essa potrebbe riconoscersi col nome di « *chiamata multipla* ». La stazione desiderosa di ricevere un grande numero di rapporti sulle particolarità della sua emissione, esegue una chiamata generale contrassegnata da una sigla speciale. Questa sigla significa che l'ascolto verrà prolungato per un tempo stabilito durante il quale si tenterà la ricezione del massimo numero di stazioni le quali riporteranno brevemente i dati necessari (v. appendice).

In questo modo è stato spesso possibile in poche ore di prova ricevere fino a *cento* rapporti tutti da distanze maggiori ai 6 mila chilometri.

Un altro metodo molto preciso e utile è quello degli appuntamenti prestabiliti: periodicamente cioè ad ore determinate si esperimenta la comunicazione con posti prefissati. In questo modo anche usando notevoli potenze si osserveranno delle stranissime differenze fra un giorno e l'altro, differenze che non sarebbero state rivelate menomamente eseguendo a caso la comunicazione.

Per sfruttare nel miglior modo il sistema occorrerebbero almeno quattro o cinque corrispondenti per ogni determinata direzione anche se questi si trovano a distanza relativamente piccola.

Per la modalità della trasmissione e dell'accordo possono essere utili le istruzioni in fine al capitolo.

Un ultimo metodo che dà spesso utili risultati è quello della trasmissione prolungata senza ascolto, quando i rapporti di ricezione si richiedono per corrispondenza. In questo caso è consigliabile rendere ben noto il piano delle esperienze a mezzo dei giornali con qualche mese di anticipo e quindi di mantenere rigorosamente l'orario con periodi di trasmissione non inferiore alla mezz'ora. In questi impianti di trasmissione esperimentale è indispensabile, per facilitare il lavoro, un manipolatore automatico.

Questo si costruisce senza difficoltà calettando su un lento asse di un movimento d'orologeria un disco metallico che porti in rilievo alla periferia, i segni telegrafici necessari. In ogni caso la trasmissione sarà *lenta* e ben chiara.

Trasmissione pratica con onde ultra corte. — Come nel caso della ricezione di onde inferiori ai 10 metri così e maggiormente per la trasmissione occorre cercare l'estrema rigidità degli istrumenti.

Il trasmettitore ideale (potenza ordine del kw.) si monterà su una ripida ed alta collina la quale sia il più possibile dominante. La sistemazione su un isolotto ben libero è d'altra parte ancor più conveniente.

Il gruppo trasmettitore costruito secondo le precedenti raccomandazioni si fisserà su una massiccia gettata di cemento (all'aperto) e sarà collegato induttivamente all'antenna eccitata sulla fondamentale o su una armonica.

I periodi di trasmissione non potranno mai essere inferiori alla mezza ora anche se l'accordo coi ricevitori è ben stabilito mediante scambio d'ondametri (v. pag. 593).

Soltanto così sarà possibile, in breve tempo, e senza perfezionamenti tecnici maggiori degli odierni, ottenere sicuri dati sul comportamento di questa gamma ancora così poco nota.

Quanto precede è naturalmente relativo al caso ideale di un risoluto sforzo verso una soluzione: d'altra parte esperienze ugualmente utili potranno essere condotte *con un grande numero* di piccoli trasmettitori.

Ciò ha il grande vantaggio di aumentare notevolmente le probabilità di sintonia. All'uopo è necessario che i numerosi trasmettitori si accordino il più possibile su onde estremamente vicine, così che gli osservatori di ricezione non possano in ogni caso « passare su l'accordo ». L'uso di riflettori e di adatte antenne è contemplato più avanti.

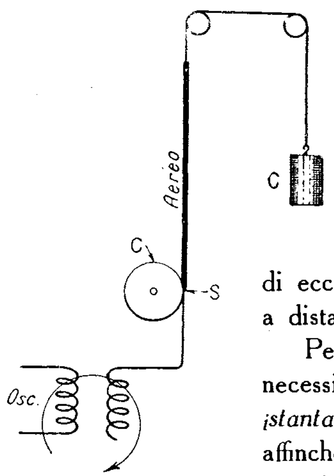


Fig. 601.

Esperienze con variazione d'antenna. — Abbiamo visto a pag. 221 come sia oggi provata l'influenza del modo di eccitazione della antenna nelle comunicazioni a distanza con onde corte.

Per condurre esperienze positive al riguardo la necessità più importante è quella di potere passare *istantaneamente* da un modo di eccitazione all'altro affinchè nessuna influenza estranea venga a modificare i risultati. D'altra parte è necessario che lunghezza d'onda e potenza antenna rimangano costanti.

Il metodo usato da chi scrive è molto semplice: sul sostegno d'aereo (fig. 216) è montata una carrucola sulla quale può scorrere una corda paraffinata che porta ad un estremo il filo d'aereo e dall'altro un adatto contrappeso (fig. 601).

Il filo d'aereo (rame nichelato di 2 mm.) viene arrotolato all'entrata

in laboratorio su un cilindro di metallo il quale annulla l' induttanza della parte avvolta.

In questo modo mantenendo fissa la lunghezza d' onda e girando il cilindro metallico si può accordare l' antenna su un' armonica qualunque o sulla fondamentale in un tempo estremamente breve.

È naturale che lo stesso sistema e con semplicità ancora maggiore, si può applicare al caso di un' antenna orizzontale (fig. 602).

È indispensabile durante le esperienze mantenere il filo e il cilindro perfettamente tersi ed è anzi molto indicato montare in *S* un contatto permanente a molla che faccia capo alla bobina accoppiata all'oscillatore. Per svolgere le esperienze ci si accorderà da prima sulla fondamentale quindi si ridurrà la potenza finchè l' intensità di ricezione risulterà piuttosto debole.

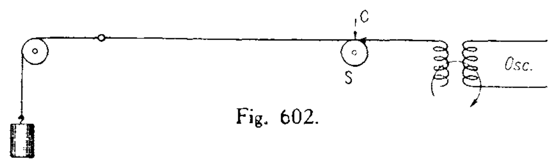


Fig. 602.

Poichè aumentando l' ordine dell' armonica occorre generalmente rendere più stretto l' accoppiamento la lunghezza d' onda subisce delle variazioni spesso notevoli (a meno di non usare l' oscillazione obbligata) e così pure varia la potenza antenna. Per ovviare a questo difetto serve un ondametro posto nelle vicinanze e fissato sull' onda giusta che si mantiene costante variando la capacità del circuito oscillante. Nei riguardi della potenza antenna una costanza molto approssimativa può ottenersi mantenendo costante la corrente *nel circuito oscillante* stesso. Questa corrente che, ad antenna accoppiata, deve essere una frazione di quella normale, può essere rivelata da un istrumento in serie o da una piccola lampada shuntata su una porzione dell' induttanza. Si può d' altra parte fissare all' estremo ad *AT* dell' induttanza stessa e *con un solo filo*, una piccola lampada ad incandescenza (120 v., 5 candele) e regolarsi, osservando la luminosità di quest' ultima. Quando la potenza è molto piccola è indispensabile un istrumento termico; non occorre tuttavia un eccessiva sensibilità per la corrente relativamente intensa che percorre in ogni caso il circuito oscillante.

Esperienze con variazione d' onda. — Uguale e spesso maggiore importanza hanno le esperienze con lunghezze d' onda variate. Anche in questo caso occorre evitare che influenze esterne vengano a modificare i risultati. Le più dannose fra queste influenze sono le variazioni nel modo d' operazione dell' antenna e le variazioni nel tempo.

Occorre quindi affinchè i risultati siano attendibili che:

— Per ogni aumento o diminuzione d'onda la lunghezza d'antenna venga proporzionalmente aumentata o diminuita.

— Che le varie misure si effettuino il più rapidamente possibile.

— Che la potenza antenna rimanga costante.

Occorre perciò usare ancora il tipo d'antenna a lunghezza variabile esaminata in precedenza ed eseguire rapidamente le misure variando la λ di metro in metro o di 3-4 metri alla volta.

Per far questo occorre che le esperienze siano preparate in precedenza. Si marcano cioè sul filo d'antenna le posizioni che di volta in volta occorre variare e si trova per ogni variazione il rispettivo accordo del condensatore.

In questo modo diventa facile ritrovare rapidamente tutti gli accordi stabiliti.

La difficoltà maggiore sta nel mantenere costante la potenza: a meno di non avere misurato la resistenza d'aereo alle varie lunghezze d'onda e quindi dedurre la potenza della corrente antenna occorre ricorrere a metodi molto grossolani come ad esempio quello di una costante potenza alimentazione. Questo metodo è tuttavia sufficientemente preciso quando il rendimento dell'insieme è stato molto bene curato; d'altra parte esso diventa ancor più preciso se le placche si arroventano leggermente perchè in questo caso si ha una visiblile indicazione di eventuali variazioni nel rendimento.

Esperienze con variazione d'onda e d'antenna. — Una volta trovati i comportamenti delle varie lunghezze d'onda e dei vari tipi di antenna è molto interessante notare come si svolgono le esperienze quando si variano simultaneamente lunghezza d'onda e modo d'operazione dell'antenna.

Occorre in ogni caso procedere sistematicamente e con rapidità. Si classificano cioè le esperienze in questo modo: fondamentale λ_1 λ_2 λ_3 λ_4 ecc. e per ognuno di questi modi d'eccitazione si esperimentano tutte le lunghezze d' onda stabilite, mantenendoli naturalmente costanti mediante variazione nella lunghezza d'aereo. Questa esperienza quando si desidera applicarla ad una decina di armoniche e ad una gamma abbastanza vasta di lunghezze d'onda risulta piuttosto lunga quindi bisogna scegliere per compierla un periodo del giorno o della notte durante il quale le condizioni atmosferiche ed astronomiche si mantengano il più possibile costanti.

Essa è senza dubbio una delle più interessanti ed importanti esperienze di propagazione e dal suo svolgimento durante lunghi

periodi e da parte di molti esperimentatori potrebbero scaturire varie cose nuove.

Essa rappresenta un caso dove l' unione di molti esperimentatori se pure utile non è indispensabile; è quindi l' esperienza più indicata per gli esperimentatori isolati, i quali godono per di più del privilegio della indipendenza da cause perturbatrici estranee, indipendenza oltremodo utile in questo caso.

Esperienze di polarizzazione. Antenne girevoli. — L' aereo ideale è un conduttore rettilineo eccitato a vibrare su mezza lunghezza d' onda.

Per condurre la più semplice serie di esperienze in questo caso, occorre potere rapidamente passare da un sistema radiante verticale ad un sistema orizzontale. Ciò si ottiene molto semplicemente con due aerei ortogonali e congiunti al trasmettitore a mezzo di linee ad alta frequenza il più possibile protette una dall' altra. Si accordano i due aerei esattamente sulla stessa lunghezza d' onda quindi riesce relativamente facile passare dall' uno all' altro in pochi istanti. Questo sistema è indicato finchè la lunghezza d' onda non è molto corta. In questo caso ($\lambda < 30$) è più conveniente un aereo ruotante su un perno centrale il quale può senza alcuna difficoltà acquistare pressochè istantaneamente la posizione angolare richiesta.

Non è pratico oltrepassare una lunghezza totale di 12 metri quindi pure calcolando una certa induttanza aggiunta al centro vi possono difficilmente sorpassare con buon rendimento i 35-40 metri di lunghezza d' onda.

La più semplice costruzione per un' antenna girevole è quella che sfrutta due canne di bambù unite al centro da un sostegno rigido. Chi scrive ha esperimentato un numero variatissimo di antenne girevoli (in legno, metalliche, a traliccio, a tubo ecc.) ma nessuna raggiunge la perfezione e la leggerezza della naturale canna di bambù. Un' unica soluzione differente che risulta tuttavia costosa e richiede un attrezzaggio speciale, è quella di costruire una canna « artificiale » in alluminio. Questa risulta molto rigida ed ha il non indifferente vantaggio di costituire la vera antenna e non il sostegno della medesima.

L' antenna girevole permette un grande numero di esperienze e sembra molto utile nello studio della evanescenza, e della natura della zona saltata.

È sperabile che molti saranno in futuro i possessori di antenne di questo genere le quali facilitano grandemente l' analisi in questo interessantissimo ramo della radiotecnica.

Praticamente affinchè i risultati ottenuti non vengano menomati occorre che l'antenna descritta si trovi completamente libera dalle influenze di altri conduttori o masse nelle vicinanze. È quindi utile una certa altezza dal suolo ed una sistemazione in aperta campagna.

Quando poi gli istrumenti non si trovano nelle immediate vicinanze è importante che l'effetto della linea alimentatrice *AF* non venga ad essere sentito: è quindi consigliabile che i fili della stessa si trovino il più possibile vicini e che eventualmente vengano protetti in una gabbia metallica messa a terra.

Questa precauzione è molto più importante nel caso di ricezione che in quello di trasmissione.

Pratica delle linee AF. — Poichè nella pratica esperimentale delle onde corte l'uso di una linea di trasporto della corrente ad alta frequenza è sempre più o meno necessario, non è fuori di luogo a questo punto qualche consiglio sull'operazione della linea stessa.

Se la lunghezza di questa è notevole in confronto della lunghezza d'onda la sua resistenza può essere eccessivamente elevata così da impedire la completa traslazione all'aereo dell'energia oscillante. Ci si accorge facilmente di ciò quando passando sull'accordo d'aereo ed usando un accoppiamento abbastanza stretto, la corrente nel circuito oscillante o quella alimentazione subisce trascurabili variazioni.

Il rimedio è alquanto semplice: basta infatti allungare la linea finchè questa si ritrovi a risuonare sulla λ o su un'armonica della λ da irradiare. La stessa cosa può ottenersi con un condensatore in parallelo ai due fili.

Nell'accordo su armonica è preferibile l'uso di armoniche dispari ed in ogni caso è consigliabile un accordo non assolutamente perfetto per ostacolare il più possibile le eventuali armoniche dell'oscillatore.

L'uso di un'armonica eccessivamente alta non è consigliabile: quando per esigenze speciali la lunghezza della linea è notevole si ottiene un ottimo funzionamento costruendo una serie di linee accordate e accoppiate fra loro.

In questo modo è possibile ridurre la resistenza al minimo (usando ad es. la fondamentale) ed aumentare notevolmente l'indipendenza dell'oscillatore dalle variazioni del sistema radiante.

Le indicazioni di corrente nei circuiti *AF* non hanno alcun valore: gli indicatori hanno soltanto lo scopo di mostrare i punti di risonanza quindi possono essere comuni lampade ad incandescenza o tubi al neon.

È indispensabile che la distanza reciproca dei due fili rimanga costante durante la trasmissione per evitare variazioni di frequenza e di

nota. Ciò è tanto più necessario quanto più prossime all'accordo sono le linee *AF*. Per le stesse ragioni è preferibile una linea ben tesa e fissata, piuttosto che una linea oscillante, a meno che quest'ultima si trovi molto distante da corpi estranei.

Il filo più utile per linee ad *AF* è quello di rame di 2 millimetri di diametro: della sua sistemazione abbiamo già parlato.

Nella messa a punto si procede per gradi: fissata da prima la λ di lavoro dell'antenna si accorda su questa l'oscillatore; a questo si accoppia allora la prima linea *AF* che a sua volta si porta molto prossima all'accordo; viene poi la volta dell'eventuale seconda linea, di una terza e così via finchè si raggiunge l'aereo. In questo caso l'ultima porzione della linea si comporta in modo molto simile al circuito stesso del generatore così che passando sull'accordo, si verifica una forte diminuzione nella corrente oscillante.

Con questi artifici è possibile alimentare con buon rendimento antenne distanti oltre 100 metri dal generatore.

Prove di dirigibilità. — Abbiamo visto (v. pag. 222) che una delle possibilità più caratteristiche delle onde molto corte è quella della facile concentrazione in una determinata direzione per le dimensioni mediocri che in questo caso ricevono i riflettori stessi.

Un filo verticale in perfetta risonanza con l'antenna e posto ad una distanza di $^1/_4$ d'onda rappresenta il riflettore più semplice. Nelle comunicazioni a grande distanza sarebbe utile potere esperimentare l'effettiva utilità di questo artificio.

Allargando il concetto si arriva al riflettore di forma parabolica il quale è costituito da tanti fili analoghi a quello precedente e disposti secondo una parabola.

Durante la messa a punto che può eseguirsi con un misuratore simile a quello descritto a pag. 580 portato in vari punti all'intorno si trova per tentativi il numero di fili che permette una maggiore concentrazione. A parità di condizioni questa è tanto più evidente quanto maggiore è l'apertura dello specchio. Questa si misura in lunghezze d'onda e in pratica varia dalla metà a varie decine di volte la fondamentale. Quando l'onda supera i 5 metri il sistema non si presenta pratico per la maggioranza degli esperimentatori; sarebbe tuttavia molto utile disporre di un simile complesso per studiarne l'effettiva utilità nello studio dei vari fenomeni che si verificano a breve distanza dal trasmettitore poichè l'energia a disposizione in un dato settore può essere molto maggiore di quella disponibile, rendendo più evidenti i fenomeni stessi.

L'altro sistema, di alimentare cioè *in fase* tante antenne in uno stesso piano e distanti fra loro una mezza lunghezza d'onda per ottenere una radiazione concentrata perpendicolarmente al piano stesso è forse meno ingombrante dell'altro ma richiede una laboriosa messa a punto per le innumerevoli linee *AF*, scrupolosamente uguali necessarie all'alimentazione. Finchè la λ non supera i 10 metri si possono sistemare in uno spazio relativamente piccolo un buon numero di antenne disponendo una lunga fune isolante ad una certa altezza dal suolo che serva da sostegno.

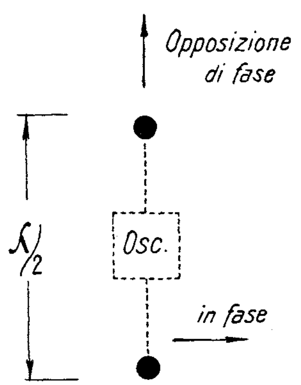


Fig. 603.

Per onde più lunghe si può ottenere un marcato effetto direttivo disponendo due soli aerei a mezza λ di distanza ed alimentandoli con due linee *AF* distinte e simmetriche (fig. 603).

Alimentando invece i due aerei in opposizione di fase la massima concentrazione si ottiene nel piano delle antenne.

Ciò suggerisce un facile modo d'indagine sul comportamento del sistema poichè con una semplice commutazione è possibile variare di 90° la riflessione massima.

Tutti i sistemi descritti si prestano ottimamente ad essere usati con aerei orizzontali, ed anzi, per esperienza dello scrivente, risultati alquanto superiori possono ottenersi in questo modo.

Molto lavoro esperimentale potrà essere dedicato con profitto a queste applicazioni di riflessione mediante aerei orizzontali tanto più importanti quanto maggiormente accetto riuscirà ai tecnici il concetto della propagazione esclusivamente spaziale.

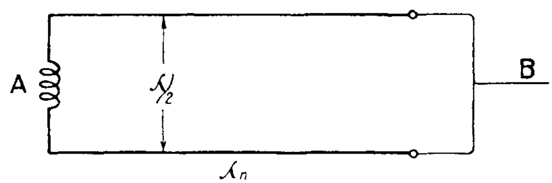


Fig. 604.

Il metodo d'indagine oltre e più che ai rapporti di ricezione da grandi distanze potrà essere imperniato sullo studio delle zone di silenzio create nei differenti casi, zone che con ogni probabilità dimostreranno caratteristiche estremamente diverse.

Il sistema d'aereo illustrato dalla fig. 604 [1] si è dimostrato praticamente utilissimo: esso può ruotare sui punti *A* e *B* e poichè la concen-

[1] Brevetto dell'A.

trazione massima si verifica nel piano delle antenne possono ottenersi notevoli variazioni nell'emissione spaziale.

I due conduttori paralleli possono avere qualsiasi lunghezza purchè la loro distanza *si mantenga* costantemente uguale alla metà della λ irradiata.

Lo stesso sistema si presta a costituire con facilità un radiatore orizzontale di grande efficienza e di pronunciata dirigibilità fissando stabilmente i due conduttori alle debite distanze. È in ogni caso preferibile una lunghezza totale almeno equivalente alla λ irradiata e che i due conduttori siano collocati piuttosto in alto per diminuire l'influenza della terra.

Il radiatore può qualificarsi come un quadro orizzontale e come tale può assumere forme diverse: chi scrive ha ottenuto ottimi risultati usando un quadro orizzontale di dimensioni ridotte analogo a quello della fig. 605.

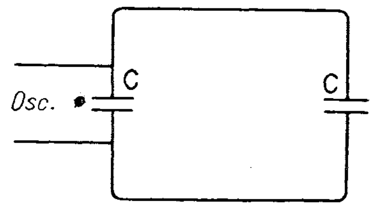


Fig. 605.

Le capacità C erano costituite da semplici isolatori di porcellana che sostenevano gli estremi del conduttore d'antenna.

I sistemi a quadro orizzontale permettono di ottenere delle grandi portate con aerei estremamente bassi: essi sono quindi ideali quando occorre ridurre al minimo la visibilità del trasmettitore.

Polarizzazione rotatoria. — A pag. 605 ci siamo brevemente intrattenuti sull'interesse che potrebbero avere prove condotte da molti esperimentatori, con aerei girevoli nel piano verticale appunto per studiare la rotazione del piano di polarizzazione durante la trasmissione a distanza.

Un aereo ruotante costantemente con una determinata velocità può mostrare delle inaspettate caratteristiche nella propagazione e nell'evanescenza dipendenti appunto da questa velocità.

Possiamo distinguere, più o meno propriamente, lo stato dell'onda così emessa o ricevuta come stato di polarizzazione rotatoria *a bassa frequenza*. Infatti il piano di polarizzazione ruota in questo caso con la stessa velocità dell'antenna e per quanto corta sia quest'ultima e quindi per quanto grande la velocità pratica di rotazione questa non potrà mai superare qualche centinaio di giri al minuto.

Per ottenere una vera rotazione ad AF e cioè la produzione effettiva di onde circolarmente polarizzate, chi scrive ha adottato un sistema

molto semplice che si presta ad essere sfruttato da chiunque senza difficoltà.

Si eccitano cioè due aerei, ortogonali fra loro mediante due linee ad *AF* (fig. 606), la lunghezza delle quali sia calcolata in modo da far sussistere fra una e l' altra alimentazione un ritardo di un quarto di periodo. Il campo elettromagnetico generato dal sistema delle due antenne, ruota allora alla stessa frequenza di lavoro.

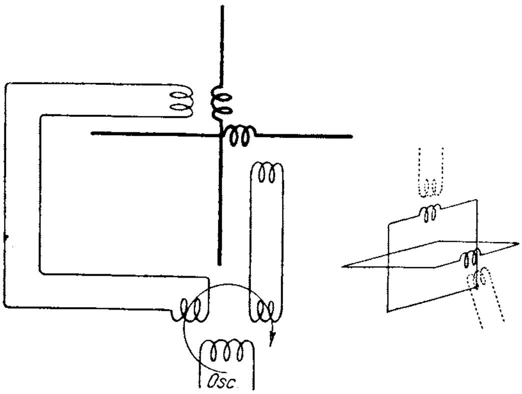


Fig. 606.

Invece delle due antenne unifilari si possono usare con vantaggio due « quadri » chiusi disposti ortogonalmente (fig. 606).

Questo sistema di trasmissione rappresenta un punto di partenza originale nelle indagini sulla propagazione. Allo scrivente non è noto che un sistema del genere sia stato da altri escogitato.

Studio delle influenze cosmiche. — Abbiamo visto nel cap. 1° della parte 4ª che esistono molte supposizioni ed esperienze tendenti a provare l' influenza del Sole ed anche della Luna sulle particolarità della propagazione radio elettrica.

Nel caso della propagazione di onde lunghe si era notato da tempo che le condizioni di ricezione *peggioravano* generalmente con l' aumento dell' attività solare. Con onde corte invece, almeno secondo il dott. Pikard, si verifica il caso perfettamente contrario.

Ammessa e riconosciuta l' influenza del Sole sulle trasmissioni radio elettriche, cosa molto probabile invero, è da aspettarsi una variazione continuata a cicli più o meno lunghi dell' intensità di ricezione dipendente appunto da questa influenza.

Ciò si verifica in pratica, ma non è stato finora indagato con metodo e serietà che da pochi osservatori. È necessario ed importante invece uno studio sistematico intrapreso contemporaneamente in ogni parte della terra.

Il mezzo più semplice di ricerca, in questo caso, è la ricezione continuata ad ore prestabilite con istrumenti il più possibile costanti. Si

verranno allora a notare variazioni, spesso notevolissime, che per esperienze di molte persone e pure di chi scrive si ripetono ciclicamente ad intervalli di circa un mese.

Di qui la generalizzata supposizione della influenza della *Luna* nelle comunicazioni radio elettriche. La spiegazione del perchè di questa influenza è molto più difficile ed incerta che nel caso del Sole: fortunatamente però, è possibile supporre che il compito della Luna, non sia che quello di « annunciatrice » delle variazioni che si notano in pratica a cagione del suo ciclo ben determinato di rotazione attorno alla Terra. In altri termini è probabile che l' influenza lunare non esista e che le coincidenze osservate fra le fasi della Luna e le qualità della ricezione non siano dovute che alla rotazione del Sole. Questo impiega infatti 25 giorni e mezzo a ruotare completamente su sè stesso, periodo questo abbastanza vicino a quello lunare.

A questa conclusione possono anche condurre i rapporti sull' influenza lunare provenienti da vari osservatori i quali sono spesso alquanto contradittori; infatti mentre alcuni di questi stabiliscono che il plenilunio coincida con un massimo di ricezione, altri sostengono perfettamente il contrario. Ammettendo l' influenza si ottiene la facile spiegazione di questa diversità di risultati; infatti poichè il ciclo solare è in ritardo costantemente su quello lunare, le varie fasi della Luna si troveranno ciclicamente concordi e discordi con il passaggio al meridiano di determinati punti della superficie solare. Così p. es. supponiamo che l' aumento di ricezione sia dovuto al passaggio di una grande macchia e che questo passaggio coincida col plenilunio. È evidente che dopo qualche mese lo stesso passaggio coincide con un'altra fase lunare appunto a cagione della maggior rapidità del ciclo di rotazione solare.

Per ottenere dati attendibili su questo interessantissimo argomento è indispensabile un ascolto quotidiano prolungato almeno per un anno. È da augurarsi che molte siano le persone serie e volonterose che si dedicheranno all' indagine in questo senso, poichè senza dubbio deduzioni del più alto valore potranno così essere dedotte.

Studio delle influenze geografiche. — Abbiamo accennato varie volte alla strana esistenza sul nostro globo di località favorevoli e sfavorevoli per le comunicazioni con onde corte. Il materiale esperimentale è al riguardo molto incerto poichè è difficilmente possibile ad un singolo studioso di spostarsi coi propri apparecchi da un punto all'altro della terra.

Il metodo di indagine più semplice è quello di installare un trasmettitore a potenza costante su una nave dedicata a grandi crociere ed

eseguire la ricezione con numerosi apparecchi a costanti ben mantenute. Lo studio più interessante è quello dell'effetto est-ovest (v. pag. 301) e quello della variazione dell'intensità di ricezione con la latitudine del trasmettitore.

Infatti nei pressi dell'equatore e dei tropici l'alta atmosfera è senza dubbio in condizioni particolari a cagione della grande velocità periferica terrestre. È prevedibile infatti che gli strati superiori non seguano completamente la rotazione terrestre ma rimangano leggermente indietro, determinando così un apparente « vento » diretto da est verso ovest (v. pag. 296).

Ad avvalorare l'ipotesi vi sono alcuni recenti risultati ottenuti per via ottica. Il prof. Horn - D'Arturo, dell'Università di Bologna, attribuisce infatti ad una corrente orientale perpetua nell'altissima atmosfera, particolari fenomeni ottici da lui osservati in una recente spedizione nelle latitudini equatoriali.

Ciò farebbe supporre che la comunicazione verso ovest potrebbe essere di gran lunga facilitata nelle zone equatoriali e tropicali.

Chi scrive ha creduto di notare nella campagna Atlantica del 1924, un effettivo e grande aumento della possibilità di comunicare verso ovest appunto nelle zone suddette.

Anche in questo campo quindi il paziente e metodico lavoro di molte persone potrà chiarire complessi fenomeni oggi ancora oscuri ed incerti.

Esperienze in generale. — Quanto precede si riferisce soltanto ad alcune fra le importanti esperienze che è possibile intraprendere nel campo delle onde corte, poichè un'indagine più particolareggiata è impedita dalla ristrettezza dello spazio.

Per completare la breve serie e per suggerire eventualmente agli esperimentatori nuovi campi d'indagine, è interessante conoscere il parere di illustri persone, dedicate da lungo tempo allo studio delle onde corte e della propagazione in genere, parere gentilmente comunicato a chi scrive.

Il prof. Giuseppe Pession, direttore generale delle P. P. T. T., si esprime in questo modo:

« Le esperienze più interessanti in questo momento sulla propagazione delle onde corte (10-100 metri) sono a mio parere le seguenti:

« 1. - Studio della inclinazione del fronte d'onda in arrivo ed in generale sulla polarizzazione delle onde. Tali esperienze dovrebbero essere fatte con accorgimenti speciali per evitare l'effetto della vicinanza delle terra all'antenna ricevente o quanto meno in maniera da poterne tenere in qualche modo conto.

« 2. - Studio esperimentale dell' effetto sulla portata e sulla zona di silenzio della inclinazione del fronte dell' onda in partenza. Queste ultime esperienze sono di altissima importanza perchè potrebbero fare luce sulle teorie della rifrazione e riflessione che oggi si delineano promettenti.

« 3. - Accertamento e delimitazione precisa delle zone di silenzio, per stabilire una relazione fra la loro ampiezza e la lunghezza e la inclinazione del fonte dell' onda emessa dall' aereo trasmettente.

« 4. - Studio di un ricevitore e trasmettitore per onde cortissime adatto a servire per investigazioni analoghe a quelle sopradette per le gamme d' onda da 2 a 10 metri ».

Il prof. G. Vanni, presidente della Sezione Nazionale U. R. S. L., ritiene che:

« Gli argomenti seguenti potrebbero avere carattere di grande attualità ed importanza:

« 1. - Proprietà caratteristiche, nella emissione e nella ricezione, delle onde polarizzate, sia nel piano orizzontale che in quello verticale.

« 2. - Studio sistematico dei fenomeni di evanescenza (fading) in una data località rispetto ad una data emissione con particolare riguardo alla determinazione fatta per via grafica oltre che uditiva, del periodo o dei periodi del fenomeno, nelle diverse epoche dell' anno.

« 3. - Anche gli argomenti che fanno parte del Concorso bandito dal nostro comitato scadente nel giugno di quest' anno potrebbero formare oggetto di studio ».

Il prof. E. F. W. Alexanderson, della General Electric Company, scrive:

« .... Io ho trovato che esperimenti prolungati nei quali sono ingaggiati moltissimi osservatori non sono eccessivamente utili perchè diventa difficile la classifica dei risultati. Risultati molto migliori si ottengono organizzando prove specifiche durante limitati periodi di tempo con la cooperazione di pochi e *sicuri* esperimentatori situati in località ben definite [1].

« Sarebbe di grandissimo aiuto nello studio della propagazione delle onde che fosse disponibile un elenco internazionale di osservatori desiderosi di cooperare e in possesso di adeguati mezzi di esperienza.

« Un requisito essenziale è che questi osservatori siano equipaggiati per ricevere e trasmettere, così che i risultati possano essere istantaneamente comunicati e le prove dirette giorno per giorno in relazione ai risultati ottenuti.

« Per eseguire queste prove non è affatto indispensabile che gli

[1] Ciò e naturale finchè gli esperimentatori *sicuri* sono pochi: quando invece questi fossero numerosi è evidente l' utilità di un grande numero di questi. (Nota dell' A.).

osservatori siano equipaggiati con misuratori quantitativi poichè molto spesso le semplici osservazioni pratiche sono alquanto più utili.

« La velocità in parole al minuto alla quale un buon operatore radio può leggere un segnale telegrafico è stata ritrovata come utilissima misura dell' intensità del segnale stesso.

« La qualità particolare delle esperienze che dovrebbero essere condotte nei riguardi del fading, polarizzazione, sistemazione di antenna ecc. dovrebbero essere specificate in ogni caso particolare in relazione alla natura delle prove ».

Il dott. E. O. Hulbert, del Naval Research Laboratory U. S. A.:

« .... Mi sembra che sistematiche ed estese osservazioni su gli stati di polarizzazione delle onde ricevute (da 20 a 1000 metri) a distanza fino a 2000 miglia dal trasmettitore possano apportare valevoli informazioni tanto sul comportamento delle onde che sulla costituzione della atmosfera superiore.

« Queste osservazioni dovrebbero essere condotte per onde trasmesse tanto con il vettore elettrico verticale che orizzontale .... Attualmente questo programma esperimentale è già stato attaccato qui e là da molti esperimentatori, ma rimane ancora molto da fare ».

E il dott. A. Hoyt Taylor, dello stesso Laboratorio, suggerisce:

« 1. - È importante di misurare accuratamente la frequenza, la esatta lunghezza della antenna e il modo di eccitarla, per determinare quali particolari angoli di radiazione partano dal trasmettitore.

« 2. - Sarebbe interessante di paragonare i dati sulle macchie solari e sui valori del campo magnetico, con le variazioni nelle condizioni di trasmissione.

« 3. - Aerei doppi (v. fig. 249) a considerevole altezza da terra possono essere usati per studiare cambiamenti nella polarizzazione in riferimento alla grandezza e rapidità del cambiamento stesso.

« 4. - Dovrebbero essere scelte delle stazioni situate in favorevoli posizioni geografiche ed usanti adatte frequenze, per determinare a che ora del giorno o della notte è evidente la « distanza saltata » e da questo potrebbe essere accuratamente dedotta l'altezza dello strato di Headviside. Queste osservazioni dovrebbero essere condotte per tutto l' anno portando a valevoli risultati sugli effetti delle stagioni e degli anni sull' altezza dello strato.... Infine, se i risultati fossero comunicati ad una organizzazione centrale, come ad esempio l' Unione Internazionale di Radiotelegrafia Scientifica (U. R. S. I.) della quale esiste una Sezione italiana, essi potranno ricevere grande pubblicità, ed io credo che non possa esistere un' altra organizzazione migliore ».

Il prof. René Mesny, autore di un ottimo libro sulle onde corte, espone le seguenti idee personali:

« Fra le questioni a delucidare per verificare le teorie attuali sulla propagazione, le seguenti mi sembrano quelle che necessitano la collaborazione disciplinata di un grande numero di osservatori:

« *Influenza dell'attività solare.* In articoli recenti Pickard ha indicato dei risultati rimarchevoli che gli ha fornito il paragone fra le sue osservazioni e le variazioni dell'attività solare e del magnetismo terrestre. Appleton ha d'altra parte ottenuto dei risultati dello stesso genere. Le coincidenze sono di una tale nettezza che la relazione entro questi fenomeni appare nettamente stabilita (1). La questione ha in questo modo una tale importanza che sarebbe di grandissimo interesse che le osservazioni fossero fatte da numerose persone ripartite in differenti punti del globo, come lo desidera lo stesso Pickard.

« *Zone di silenzio.* La loro esistenza secondo Taylor e Hulbert (2) è la conseguenza della variazione dell'indice di rifrazione dell'alta atmosfera sotto l'influenza della ionizzazione. I raggi poco inclinati sulla verticale possono sfuggire completamente al dominio terrestre e ciò tanto più facilmente quanto più corta è la lunghezza d'onda. Eckersley stima che sarebbe necessario fare intervenire l'assorbimento; per lui la ionizzazione sarebbe sempre sufficiente a dare un incurvamento bastevole a tutti i raggi di qualsiasi lunghezza d'onda, ma l'assorbimento eliminerebbe completamente quelli fra loro che dovrebbero penetrare troppo profondamente negli strati ionizzati. Queste due spiegazioni conducono a dei risultati contradittori. Secondo la prima il limite della zona di silenzio sarebbe molto netto; secondo l'altra il passaggio fra la zona di silenzio e quella di ottima ricezione sarebbe graduale e per insensibili variazioni.

« Gli osservatori come i teorici parteggiano per ambedue i casi: ci sarebbe dunque grande interesse a determinare nettamente i caratteri delle zone di silenzio.

« *Campo magnetico terrestre.* Alcuni attribuiscono al campo magnetico terrestre le caratteristiche delle onde nei pressi dei 200 metri.

(1) Per maggiori particolari sull'argomento, oltre al cap. 1° della parte 4ª e pag. 610 di questo libro, cfr.:

PICKARD G. W. - « Proc. Inst. Radio E. », febbraio 1927.
— « Onde Electrique », febbraio 1927.
APPLETON E. V. - « The Electrician », marzo 1927.
ECKERSLEY T. L. - « Experimental wireless », aprile 1927.

(2) Vedi pag. 312.

Esperienze condotte da Meisner che per distanze variabili fino ai 1300 chilometri non esiste alcun assorbimento selettivo fra 175 e 265 metri [1]; Eckersley stima che l'inferiorità delle onde di 200 metri non esista affatto alla notte. L'assenza di un assorbimento selettivo per una gamma ridotta non deve meravigliare se si considera che il campo magnetico terrestre diminuisce molto rapidamente con l'altezza. Comunque effettivamente è utile di precisare come varia di giorno e di notte la ricezione di onde comprese fra 50 e 500 metri. Si accettano un po' troppo su questo soggetto dei risultati vaghi basati su osservazioni mal definite e anonime.

« *Influenze geografiche.* Delle influenze geografiche sono state spesso segnalate: In una data epoca si riceve meglio una data emissione in un paese piuttosto che in un altro; questi risultati cambiano o addirittura si invertono; le trasmissioni nord-sud e est-ovest non sono affatto equivalenti; ma la precisione su questi risultati è tuttora insufficiente e così è pure per la irreversibilità delle trasmissioni fra due punti determinati. Anche in questo caso esperienze numerose e continuate eseguite da osservatori sicuri e seri sono indispensabili ».

Organizzazione degli esperimenti. — Oggi è assodato con sicurezza che il lavoro esperimentale di poche persone non è affatto sufficiente a darci un'idea concreta del complesso fenomeno della propagazione hertziana attorno alla terra; ma d'altra parte è altrettanto sicuro che il lavoro esperimentale di un grande numero di osservatori, condotto senza metodo ed arbitrariamente porta a risultati inutili per la grande difficoltà di classificarli.

È evidente allora che per ottenere degli effettivi dati di fatto da un grande numero di esperimentatori occorre che questi siano razionalmente organizzati.

Occorre cioè un organo di centralizzazione dei risultati, delle ricerche ecc. e dal quale possa essere affidato a ciascun esperimentatore o a ciascun gruppo un ben preciso e stabilito piano d'indagine.

Il lavoro di questo organo centrale, la competenza del quale dovrà essere indiscussa, riuscirà certamente notevole.

Si dovranno cioè escogitare, studiare e rendere attuabili i vari piani d'esperienze, piani che periodicamente dovranno ricevere la più vasta pubblicazione attraverso apposite stampe, riviste ecc.

Si dovranno organizzare gruppi e sezioni fornendo ad esse continua-

[1] Vedi pag. 304 e 591.

mente il materiale di studio e mostrando la via da seguire caso per caso; si dovranno insomma, attraverso la competenza, le cognizioni e la tecnica della Commissione componente l' organo centrale, dirigere i vari studi affinchè da essi possa trarsi il massimo vantaggio.

Come è stato suggerito, l' organizzazione nazionale della U. R. S. I. (Union Radio Scientiphique Internationelle) potrebbe assumere l' incarico e farsi promotrice di un movimento del più alto significato nazionale e civile.

Infatti l' ideale unione di un grande numero di persone che volontariamente si sottomette alle fatiche di una ricerca intesa al progresso della Scienza, rappresenta senza dubbio il raggiungimento di un alto stato di civiltà. E bene ne ritrarrebbe certamente la nostra Patria dall' essersene fatta promotrice.

APPENDICE

APPENDICE

Materialità d'esperimento. — Per potere entrare con successo nel campo esperimentale radio ad onda corta è indispensabile conoscere e praticare correttamente l'alfabeto internazionale telegrafico « Morse » (v. pag. 627).

Questa necessità che può apparire superflua considerando la possibilità dell'emissione telefonica, è della più grande importanza. Infatti nessuna prova seria ed effettiva può essere intrapresa con potenza anche ridottissima senza l'aiuto della trasmissione telegrafica.

Il novello esperimentatore non deve per questa iniziale difficoltà da superare, sgomentarsi minimamente. Il codice telegrafico può infatti facilmente impararsi in un brevissimo periodo di tempo, quando lo si apprenda razionalmente.

Occorre anzitutto abituarsi all'uso *fonetico* dell'alfabeto stesso apprendendolo cioè come serie di suoni e non come serie di segni. Questa precauzione è molto importante e da una sua giusta applicazione iniziale dipende un grande risparmio di tempo.

Occorre mandare a memoria la tabella della pag. 627 sostituendo ai punti e alle linee le sillabe *ti* e *ta* rispettivamente.

È assolutamente errato abituarsi a riconoscere le varie lettere numerando i vari *punti* e le varie *linee* contenuti.

Occorre invece abituarsi fin dall'inizio al suono particolare che acquista ogni lettera al rapido succedersi dei segni che la compongono. Iniziando in questo modo bastano pochi giorni per apprendere perfettamente il codice.

Per iniziarsi alla corrente pratica di ricezione si tenta di ricevere una buona e lenta trasmissione eseguita da un esperto, trasmissione che potrà essere eseguita per radio ad uso del più grande numero di persone non appena queste saranno numerose. Questo secondo periodo di pratica è ugualmente importante al primo: occorre che la trasmissione sia perfetta, che i singoli segni vengano

fra di loro le varie lettere. La velocità di trasmissione deve per altro essere trasmessi a velocità normale e che la lentezza necessaria sia ottenuta spaziando leggermente superiore alla possibilità di ricezione per spingere al massimo lo sforzo mentale.

Superato il secondo periodo, quando cioè si ricevono bene 30-40 lettere al minuto ci si può già perfezionare nelle correnti ricezioni radiotelegrafiche ad onda corta molte delle quali usano una velocità ridotta di trasmissione e trasmettono due volte ogni parola.

Con questo procedimento chiunque in poco tempo può acquistare una sufficiente padronanza del codice « Morse » per usarlo in correnti comunicazioni esperimentali.

Comunicazioni telegrafiche. — Ogni posto esperimentale possiede una sigla di riconoscimento costituita dall'insieme di alcune lettere e cifre. Esso usa questa sigla in unione agli indicativi di nazionalità (v. pag. 625) e ai segni internazionali abbreviati (Q, v. pag. 623).

La chiamata generale serve quando si desidera comunicare con chiunque la riceva. Essa si esegue facendo precedere alla sigla e all'indicativo di nazionalità la sillaba *cq*.

È regola internazionale durante le chiamate ripetere tre volte ogni parola: così ad esempio la stazione italiana *AAA* esegue una chiamata generale ripetendo ciclicamente per tre volte le parole *cq ei AAA*. Quando si desidera una chiamata generale ad una determinata nazione si fa precedere l'indicativo di nazionalità con l'indicativo della nazione desiderata. Così la nostra stazione se desidera comunicare con gli Stati Uniti d'America ripeterà regolarmente: *cq nu ei AAA*.

L'altra sigla *QS* pure usata nelle chiamate generali è da usarsi soltanto quando l'interesse nella ricezione è generale (comunicazioni ecc.).

La chiamata particolare si esegue ponendo al posto del *cq* o del *qst* la sigla della stazione desiderata.

Così se l'italiana *AAA* desidera comunicare con l'italiana *BBB* ripeterà ciclicamente *BBB ei AAA* mentre volendo comunicare con l'americana *CCC* ripeterà *CCC nuei AAA*.

Alla fine della trasmissione si fa il segno *AR* seguito dalla lettera *K* se si passa a ricevere o dalle lettere *VA* se la comunicazione è finita definitivamente.

Nelle comunicazioni internazionali la lingua maggiormente usata è l'inglese quindi è indispensabile per chi desidera condurre esperienze a grande distanza conoscere almeno per sommi capi questa lingua. Un ausilio non indifferente può tuttavia ottenersi dall'uso dei segnali *Q* già menzionati e delle abbreviazioni più usate (v. pag. 624).

Per mantenere la serietà e per il successo delle comunicazioni occorre trasmettere lentamente, ben spaziando le lettere e le parole; evitare le frasi inutili, essere gentili, brevi e concisi.

Nelle comunicazioni correnti si qualifica generalmente con un numero l'intensità di ricezione, numero che si ottiene dalla scala a fianco riportata.

Esso è sempre preceduto dalla lettera *R*. Tutte le comunicazioni e tutte le esperienze verranno regolarmente annotate su apposito registro:

R 1 debolissimi segnali illeggibili.
R 2 deboli segnali poco leggibili.
R 3 deboli segnali leggibili.
R 4 buoni segnali leggibili.
R 5 segnali abbastanza forti.
R 6 segnali forti.
R 7 segnali molto forti.
R 8 segnali fortissimi udibili a distanza dalla cuffia.
R 9 segnali estremamente forti.

Nello stesso registro si annoteranno bene le eventuali variazioni e modifiche eseguite, le condizioni generali di ricezione, dati atmosferici ecc.

L'andamento delle esperienze verrà in questo modo molto bene disciplinato e ne risulterà una maggiore facilità nello spoglio dei risultati.

Codice Q. — Questo codice, molto usato in pratica, è stato leggermente modificato nelle comunicazioni private rispetto al codice internazionale. Esso è costituito dalla lettera *Q* seguita da altre due lettere e rappresenta domande o affermazioni a seconda che le varie sigle sono seguite o no dal punto interrogativo.

QRA? Quale è il vostro indirizzo?
QRA — Il mio indirizzo è...
QRB? Quale è la vostra distanza?
QRB — La mia distanza è....
QRC? Quale è la vostra vera posizione?
QRC — La mia vera posizione è....
QRD? Dove siete diretto?
QRD — Sono diretto a....
QRF? Da dove venite?
QRF — Vengo da....
QRG? A qual linea di navigazione appartenete?
QRG — Appartengo alla linea....
QRH? Quale è la vostra lunghezza d'onda?
QRH — La mia lunghezza d'onda è....
QRJ? Quante parole avete da trasmettere?
QRJ — Io ho.... parole da trasmettere.
QRK? Come sono i miei segnali?
QRK — I vostri segnali sono....
QRL? Ricevete male?
QRL — Ricevo male.
QRM? Avete interferenze?
QRM — Ho interferenze.
QRN? Sono forti i disturbi atmosferici?
QRN — I disturbi atmosferici sono forti.
QRO? Debbo aumentare la potenza?
QRO — Aumentate la potenza.
QRP? Debbo diminuire la potenza?
QRP — Diminuite la potenza.
QRQ? Debbo trasmettere più in fretta?
QRQ — Trasmettete più in fretta.
QRR — Segnale di soccorso terrestre.
QRS? Debbo trasmettere più adagio?
QRS — Trasmettete più adagio.
QRT? Debbo finire la trasmissione?
QRT — Finite la trasmissione.

QRV? Avete nulla per me?
QRV — Non ho nulla per voi.
QRV? Siete voi pronto?
QRV — Sono pronto.
QRW? Siete occupato?
QRW — Sono occupato.
QRX? Debbo aspettare?
QRX — Aspettate.... minuti.
QRY? Quando sarà il mio turno?
QRY — Il vostro turno sarà....
QRZ? Sono deboli i miei segnali?
QRZ — I vostri segnali sono deboli.
QSA? Sono forti i miei segnali?
QSA — I vostri segnali sono forti.
QSB? Come è la mia nota?
QSB — La vostra nota è....
QSC? È cattiva la mia manipolazione?
QSC — La vostra manipolazione è cattiva.
QSD? Che ora avete?
QSD — La mia ora è....
QSF? La trasmissione è in ordine alternato o in serie?
QSF — La trasmissione è in ordine alternato.
QSG — La trasmissione è in serie di 5 telegrammi.
QSH — La trasmissione è in serie di 10 telegrammi.
QSK? È annullato l'ultimo telegramma?
QSK — L'ultimo telegramma è annullato.
QSL? Mi darete conferma di ricezione?
QSL — Vi darò conferma di ricezione.
QSH? Quale è la vostra vera rotta?
QSH — La mia vera rotta è....
QSN? Siete in comunicazione con la terra?
QSN — Sono in comunicazione con la terra.
QSO? Avete comunicato con....?
QSO — Ho comunicato con....
QSP? Debbo informare.... che voi lo chiamate?
QSP — Informate.... che io lo chiamo.
QSQ? Mi chiama....?
QSQ — Voi siete chiamato da....
QSR? Inoltrerete voi il telegramma?
QSR — Inoltrerò il telegramma.
QSS? Notate evanescenze nei miei segnali?
QSS — Noto evanescenze nei vostri segnali.
QST — Chiamata generale.
QSV? Vi prego chiamarmi alle....
QSV — Vi chiamerò alle....
QSV? Può essere trasmessa la corrispondenza privata?
QSV — La corrispondenza privata può essere trasmessa.
QSY? Debbo trasmettere su una lunghezza d'onda di....
QSY — Trasmettete su una lunghezza d'onda di....
QSZ? Volete trasmettere doppio ogni parola?
QSZ — Trasmettete doppio ogni parola.
QTA — Ripetete l'ultimo telegramma.
QTC? Avete qualche cosa da trasmettere?
QTC — Ho qualche cosa da trasmettere.
QTE? Quale è la mia vera posizione?
QTE — La vostra vera posizione è.... gradi....
QTF? Quale è la mia posizione?
QTF — La vostra posizione è.... lat.... long....

Abbreviazioni usate nelle comunicazioni RT

ABL — *Able* - abile.
ABT — *About* - circa.
AC — *Alternating current* - corrente alternata.
ACCW — *Alternating current continous wave* - emissione ad onde persistenti alimentazione corrente alternata.
ADS — *Address* - indirizzo.
AGN — *Again* - ancora.
AMP — Ampére.
ANI — *Any* - alcuno.
ANT — Antenna.
AUD — Audibilità.
B — *Be* - essere.
B 4 — *Before* - prima.

BCL — *Broad casting listener* - ascoltatore di radiofonia.
BD — *Bad* - cattivo.
BI — *By* - da
BN — *Been* - stato.
C — *See* - vedere.
CKT — *Circuit* - circuito.
CLD — *Called* - chiamato.
CN — *Can* - posso.
CNT — *Can not* - non posso
CONGRATS — Congratulazioni.
CRD — *Card* - cartolina.
CST — *Central Standard Time.*
CU — *See you later* - arrivederci.
CW — *Continous wave* - onda persistente.
DA — *Day* - giorno.
DC — *Continons current* - corrente continua.
DX — *Distance* - distanza.
ERE — *Here* - qui.
ES — *And* - e.
EST — *Eastern Standard Time.*
FB — *Fine business* - eccellente caso.
FM — *From* - da.
FR — *For* - per.
GB — *Good bye* - addio.
GE — *Good evening* - buona sera.
GM — *Good morning* - buon mattino.
GMT — Tempo medio Greenevich.
GN — *Good night* - buona notte.
GUP — *Good* - buono.
HAM — *Amateur* - dilettante.
HD — *Had* - avevo.
HI — Esclamazione.
HR — *Here* - qui.
HRD — *Heard* - udito.
HV — *Have* - ho.
KNW — *Know* - conosco.
LITE — *Light* - luce.
MI — *My* - mio.
MIN — *Minute* - minute.
MSG — *Message* - messaggio.
ND — *Nothing doing* - insuccesso.
NIL — *Nothing* - nulla.
NITE — *Night* - notte.
NW — *Now* - ora.
OB — *Old boy* - vecchio mio.
OM — *Old man* - vecchio mio.
OW — *Old-woman* - vecchia mia.
PSE — *Please* - prego.
RAC — *Rectified AC* - corrente alternata rettificata.
RCD — *Received* - ricevuto.
SA — *Say* - dico.
SIGS — *Signals* - segnali.
SIG — *Signature* - firmato.
TMW — *Tomorrow* - domani.
TRI — *Try* - provare.
UR — *Your* - vostro.
URS — *Yours* - vostri.
VY — *Very* - molto.
WK — *Work* - lavoro.
WL — *Will* - voglio.
WX — *Weather* - tempo.
YL — *Young lady* - Signorina.
YR — *Your* - vostro.
73 — *Best regards* - migliori saluti.
88 — *Love* - affettuosi saluti.
99 — *Keep out* - finitela.

Indicativi di nazionalità.

EUROPA

EA — Austria.
EB — Belgio.
EC — Cecoslovacchia.
ED — Danimarca ed Isole Faroer.
EE — Spagna ed Andorra.
EF — Francia e Monaco.
EG — Inghilterra e Nord Irlanda.
EH — Svizzera.
EI — ITALIA.
EJ — Jugoslavia.
EK — Germania.
EL — Norvegia, Spitzbergen, Terra di Francesco Giuseppe.
EM — Svezia.
EN — Olanda.
EO — Stato libero d' Irlanda.
EP — Portogallo, Madera, Isole Azzorre.
EQ — Bulgaria.

E R — Rumenia.
E S — Finlandia.
E T — Polonia, Estonia, Latvia, Curlandia, Lituania.
E U — U. S. S. R. Russia, Ucraina inclusa.
E V — Albania.
E W — Ungheria.
E X — Lussemburgo.
E Y — Grecia.
E Z — Zona degli Stretti.

ASIA

A A — Arabia.
A B — Afganistan.
A C — Cina, Manciuria, Mongolia, Thibet.
A D — Aden.
A E — Siam.
A F — Indo-Cina Francese.
A G — Georgia, Armenia, Azerbaijan.
A H — Hedjaz.
A I — India.
A J — Giappone.
A M — Isole Malacca.
A N — Nepal.
A O — Oman.
A P — Palestina.
A Q — Irak (Mesopotania).
A R — Siria.
A S — Siberia ed Asia Centrale.
A T — Turchia.
A U — Non assegnato.
A V — Non assegnato.
A W — Non assegnato.
A X — Non assegnato.
A Y — Cipro.
A Z — Persia.

NORD AMERICA

N A — Alaska.
N B — Bermuda.
N C — Canadà.
N D — Repubblica Domenicana.
N F — Isole Bahama.
N G — Guatemala.
N H — Honduras.
N I — Islanda.
N J — Giamaica.
N L — Antille.
N M — Messico.
N N — Nicarugua.
N O — Honduras Inglese.
N P — Portorico.
N Q — Cuba.
N R — Costa Rica.
N S — S. Salvador.
N T — Isole Haiti.
N U — Stati Uniti d' America.
N X — Groenlandia.
N Y — Panama.
N Z — Zona del Canale.

SUD AMERICA

S A — Argentina.
S B — Brasile.
S C — Chile.
S D — Guiana Tedesca.
S E — Equatore ed Arcipelago Galapagos.
S F — Guiana Francese.
S G — Paraguai.
S H — Guiana Inglese.
S I — Non assegnato.
S J — Non aasegnato.
S K — Isole Falkland.
S L — Columbia.
S M — Non assegnato.
S N — Isola Ascensione.
S O — Bolivia.
S P — Perù.
S Q — Non assegnato.
S R — Non assegnato.
S S — Non assegnato.
S T — Non assegnato.
S U — Uraguay.
S V — Venezuela ed Isole Trinità.

AFRICA

F A — Abissinia.
F B — Madagascar, Reunion, Comoro.
F C — Congo Belga, Ronauda, Urnudi.
A D — Angola e Kabinda.
F E — Egitto.

F F — Africa Occidentale, Francese, Sudan, Mauretania, Senegal, Guinea Francese, ecc.

F G — Gambia.

F H — Somalia Italiana.

F I — Libia, Tripolitania, Cirenaica.

F J — Protettorato Somalo e Socotra.

F K — Kenga, Zanzibar, Uganda, Sudan Anglo-Egiziano, Territorio Tanganika.

F L — Liberia.

F M — Tunisia, Algeria, Marocco, Tangeri.

F N — Nigeria.

F O — Unione Sud Africa, Rodesia Nord e Sud, Bechuanaland, Africa Sud-Est.

F P — Guinea Portoghese, Isole Capoverde.

F Q — Africa Equatoriale, Francese e Cameroon.

F R — Rio de Oro ed adiacenti zone spagnole, Isole Canarie.

F S — Sierra Leone.

F T — Eritrea.

F U — Rio Muni (Guinea Spagnola) e Fernando Po.

F V — Somalia Francese.

F W — Costa d'Oro, Colonia, Ashanti.

F Y — Non assegnato.

F X — Seychelle.

F Z — Mozambico.

OCEANIA

O A — Australia e Tasmania.

O D — Indie Orientali Tedesche.

O E — Melanesia.

O H — Isole Haway.

O I — Micronesia.

O O — Polinesia.

O P — Isole Filippine.

O Z — Nuova Zelanda.

Alfabeto Morse.

LETTERE

a - —

ä - — - —

à o â - — — - —

b — - - -

c — - — -

ch — — — —

d — - -

e -

é o è - - — - -

f - - — -

g — — -

h - - - -

i - -

j - — — —

k — - —

l - — - -

m — —

n — -

ñ — — - — —

o — — —

ö — — — -

p - — — -

q — — - —

r - — -

s - - -

t —

u - - —

ü - - — —

v - - - —

w - — —

x — - - —

y — - — —

z — — - -

CIFRE

1 - — — — —

2 - - — — —

3 - - - — —

4 - - - - —

5 - - - - -

6 — - - - -

7 — — - - -

8 — — — - -

9 — — — — -

0 — — — — —

(.) - - - - - -

(;) — - — - — -

(,) - — - — - —

(;) — — — - - -

(?) - - — — - -

(!) — — - - — —

(') - — — — -

(-) — - - - - —

(« ») - — - - — -

) — - — — - —

(=) — - - - —

INDICE ALFABETICO

Finito di stampare
il giorno 9 maggio 1927
nella Tipografia Paolo Neri
in Bologna

(segue a pag. 3 di copertina)